

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

д.т.н., професор

_____ Костянтин ДЯДЮРА

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти
Освітньої програми «Агроінженерія»
За спеціальністю 208 «Агроінженерія»

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ АПК

Науковий керівник:

_____ Тарас ГУЦОЛ

Рецензент: к.т.н. Андрій МОСКАЛЮК

Виконав здобувач заочної форми навчання

Олександр ДАНИЛОВ

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання
на відповідне джерело.*

_____ **Олександр ДАНИЛОВ**

ОДЕСА – 2025

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії
Кафедра Агроінженерії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство
Спеціальність 208 Агроінженерія
Освітня програма Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Агроінженерії

_____ Костянтин ДЯДЮРА

« ____ » _____ 20 ____ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

Олександр ДАНИЛОВУ

(ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи (кваліфікаційного проєкту):
« Енергетичний комплекс для технологічних процесів АПК »,

науковий керівник кваліфікаційної роботи:

д.т.н., проф. Тарас ГУЦОЛ

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

затверджені наказом ректора Одеського державного аграрного університету
№ 88-з від «27» червня 2025 р.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи : 15 грудня 2025 року

3. Об'єкт дослідження: енергетичне забезпечення технологічного процесу молочно-товарної ферми (МТФ).

4. Предмет дослідження: конструкція та режими роботи установки для вироблення механічної, теплової та електричної енергії для МТФ

5.Перелік завдань, які потрібно розробити:

5.1. Теоретико-методичний розділ:

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. 1.1. Аналіз енергетичних витрат у діяльності молочно-товарної ферми. 1.2. Аналіз конструкцій газогенераторних установок та технологій їх роботи. 1.3. Паливо для газогенераторних установок. 1.4 Газогенератори поперечного (горизонтального) процесу газифікації

5.2. Дослідницько-аналітичний розділ: ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ 2.1 Розробка енергетичного комплексу для використання у

процесах сільськогосподарського виробництва 2.2. Модернізація газогенераторної установки 2.3. Розробка математичної моделі для розрахунку раціонального розподілу енергії на молочно-товарній фермі 2.4. Оптимізація конструктивних параметрів газогенераторної установки

5.3. Проектно-рекомендаційний розділ:

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ 3.1. Результати досліджень енергетичного комплексу в режимі роздільного вироблення енергії Визначення якості та обсягу генераторного газу Аналіз роботи енергетичного комплексу при суміщеному режимі виробітку енергії. 4. Визначення ККД енергетичного комплексу на різних режимах вироблення енергії

6. Орієнтовний перелік графічного та табличного матеріалу:

6.1. До теоретико-методичного розділу:

Альтернативні види джерел електроенергії. Характеристика діяльності МТФ на 50, 100, 150 голів. Аналіз конструкцій газогенераторних установок та технологій їх роботи. Паливо для газогенераторних установок. Схема ГГУ прямого процесу газифікації: 1-бункер; 2-паливник; 3-зольник. Загальна схема енергетичного комплексу.

6.2. До дослідницько-аналітичного розділу :

Загальна схема енергетичного комплексу. Модернізований котел ГГУ. Витрата енергії енергетичного комплексу за різних режимів його роботи. Розрахункова схема ГГУ оптимізації конструктивних параметрів.

10 Запалення генераторного газу: а) до займання; б) після займання

6.3. До проектно-рекомендаційного розділу:

Зміна температури у різних зонах котла ГГУ від початку запуску установки.

Зовнішні характеристики ДВЗ при роздільному та комплексному режимі роботи ГГУ

7. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи : Розвиток малих виробництв у сільській місцевості, розташованих у віддалених та важкодоступних районах, що мають гарну кормову базу для тваринництва, стримується обмеженою енергетичною та транспортною інфраструктурою. При цьому на окремих територіях гірничо-лісової зони Карпат з багатою природною кормовою базою є практично необмежені можливості для використання як джерело енергії відходів лісгосподарської діяльності. У зв'язку з цим зазначені відходи можна застосовувати як паливо для газогенераторних установок (ГГУ), які дозволяють отримувати тепло і генераторний газ (ГГ) з подальшим використанням для отримання механічної та (або) електричної енергії. Великі перспективи мають енергетичні комплекси з газогенераторною установкою для використання при сушінні сільськогосподарської продукції, а також використання у системі опалення приміщень.

8. Перелік публікацій за напрямом досліджень: публікація статті у збірнику V Міжнародної науково практичної конференції науково – педагогічних працівників та молодих науковців, секція 3

9. Дата видачі завдання: «10» липня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Кількість кредитів	Примітка
1.	Визначення теми, об'єкта та предмета дослідження	Травень 2025	0,25	
2.	Отримання завдання і складання змісту (плану) кваліфікаційної роботи	Червень 2025	0,25	
3.	Складання календарного плану – графіку з підготовки кваліфікаційної роботи	Липень 2025	0,5	
4.	Написання першого (теоретико-методичного) розділу кваліфікаційної роботи	Вересень 2025	2,0	
5.	Вивчення матеріалів базових підприємств	Вересень 2025	1,0	
6.	Написання другого (дослідницько-аналітичного) розділу кваліфікаційної роботи	Жовтень 2025	2,0	
7.	Написання третього (проектно-розрахункового) розділу кваліфікаційної роботи	Листопад 2025	3,0	
8.	Написання висновків, списку літератури	Листопад 2025	0,5	
9.	Перевірка кваліфікаційної роботи науковим керівником	Листопад 2025		
10.	Доопрацювання роботи після зауважень наукового керівника	Листопад 2025	0,5	
11.	Підготовка до захисту: доповідь, ілюстративний матеріал	Грудень 2025	0,5	
12.	Подання кваліфікаційної роботи на кафедру	16 грудня 2025		
13.	Перевірка кваліфікаційної роботи на оригінальність	Грудень 2025		
14.	Попередній захист на кафедрі	Грудень 2025		
15.	Рецензування кваліфікаційної роботи	Грудень 2025		
16.	Захист кваліфікаційної роботи	18-20 грудня 2025	1,5	
	Загальна кількість		12	

Здобувач ОС «Магістр»

_____ Олександр ДАНИЛОВ

підпис

Науковий керівник

_____ Тарас ГУЦОЛ

підпис

Гарант ОП

_____ Анатолій ЯКОВЕНКО

підпис

РЕФЕРАТ

Метою роботи є обґрунтування технологічних процесів енергетичного комплексу з газогенераторною установкою.

Об'єктом дослідження є енергетичне забезпечення технологічного процесу молочно-товарної ферми (МТФ).

Предмет дослідження: конструкція та режими роботи установки для вироблення механічної, теплової та електричної енергії для МТФ.

Обґрунтовано необхідність розробки джерела енергії з використанням відходів лісозаготівель, що дозволяє виробляти одночасно теплову енергію, електричну та енергію для приводу механічних агрегатів. Розроблено математичну модель розподілу енергії комплексу при його роботі в молочно-товарній фермі, що дозволяє розрахувати тепловий баланс енергії, при якому досягається найменша витрата палива. Представлено результати лабораторних випробувань енергетичного комплексу з вироблення енергій, наведено аналіз процесу тепло-масообміну між теплоносієм і газогенераторною установкою, кількість виробленої різних видів енергії, а також визначення ККД комплексу та визначено техніко-економічну ефективність застосування запропонованого енергетичного комплексу.

Обґрунтовано енергетичний комплекс із газогенераторною установкою для малих сільськогосподарських виробництв, призначений для вироблення теплової, механічної та електричної енергії.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС, ВИТРАТИ ПАЛИВА, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, ЕНЕРГІЯ.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	2
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	8
1.1. Аналіз енергетичних витрат у діяльності молочно-товарної ферми.....	8
1.2. Аналіз конструкцій газогенераторних установок та технологій їх роботи.....	10
1.3. Паливо для газогенераторних установок.....	13
1.4 Газогенератори поперечного (горизонтального) процесу газифікації.....	18
2. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ.	25
2.1 Розробка енергетичного комплексу для використання у процесах сільськогосподарського виробництва.....	25
2.2. Модернізація газогенераторної установки.....	27
2.3. Розробка математичної моделі для розрахунку раціонального розподілу енергії на молочно-товарній фермі.....	28
2.4. Оптимізація конструктивних параметрів газогенераторної установки.....	32

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
3.1. Результати досліджень енергетичного комплексу в режимі роздільного вироблення енергії.....	37
3.2. Визначення якості та обсягу генераторного газу.....	43
3.3. Аналіз роботи енергетичного комплексу при суміщеному режимі виробітку енергії.....	48
3.4. Визначення ККД енергетичного комплексу на різних режимах вироблення енергії.....	53
4. . ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	64
ВИСНОВКИ.....	69
Література.....	70
ДОДАТКИ.....	75

ПЕРЕЛІК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

1. Альтернативні види джерел електроенергії
2. Характеристика діяльності МТФ на 50, 100, 150 голів.
3. Аналіз конструкцій газогенераторних установок та технологій їх роботи.
4. Паливо для газогенераторних установок
5. Схема ГГУ прямого процесу газифікації: 1-бункер; 2-паливник; 3-зольник
6. Загальна схема енергетичного комплексу
7. Модернізований котел ГГУ
- 8 Витрата енергії енергетичного комплексу за різних режимах його роботи

9. Розрахункова схема ГГУ оптимізації конструктивних параметрів.

10 Запалення генераторного газу: а) до займання; б) після займання

11 Зміна температури у різних зонах котла ГГУ від початку запуску установки.

.12. Зовнішні характеристики ДВЗ при роздільному та комплексному режимі роботи ГГУ

ВСТУП

Розвиток малих виробництв у сільській місцевості, розташованих у віддалених та важкодоступних районах, що мають гарну кормову базу для тваринництва, стримується обмеженою енергетичною та транспортною інфраструктурою. При цьому на окремих територіях гірничо-лісової зони Уралу з багатою природною кормовою базою є практично необмежені можливості для використання як джерело енергії відходів лісогосподарської діяльності. У зв'язку з цим зазначені відходи можна застосовувати як паливо для газогенераторних установок (ГГУ), які дозволяють отримувати тепло і генераторний газ (ГГ) з подальшим використанням для отримання механічної та (або) електричної енергії. Великі перспективи мають енергетичні комплекси з газогенераторною установкою для використання при сушінні сільськогосподарської продукції, а також використання у системі опалення приміщень. У зв'язку з цим роботи, спрямовані на забезпечення віддалених тваринницьких ферм та інших малих сільськогосподарських виробництв автономними джерелами енергопостачання (теплова, механічна та електрична енергія) на базі газогенераторної установки з використанням відходів лісозаготівель є дуже актуальними.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.

1.1. Аналіз енергетичних витрат у діяльності молочно-товарної ферми.

У сільськогосподарських підприємствах є потреба у використанні різних видів енергії: електричної, механічної та теплової.

Механічні та теплові види енергії можуть перетворюватися з електричної енергії за допомогою нагрівальних елементів та електродвигунів [1,8]. Молочно-товарним фермам на літній період обов'язково потрібна електроенергія (для освітлення, електродвигунів, холодильного пристрою та ін.), тепла енергія (для підігріву води та опалювальної системи) та механічна енергія (для приводу доїльної установки та інше). Без цих видів енергій неможлива робота МТФ. У разі підключення до мереж електроліній усі види енергій перетворюються від електричної енергії (для нагріву води, для механічної роботи та для освітлення МТФ) [19,80]. Одні з таких альтернативних видів отримання електроенергії наведені у таблиці 1.1 [1,2,3,8].

Таблиця 1.1 – Альтернативні види джерел електроенергії

№	Вид установки	Джерело
1	Вітрогенератор	Потік вітрів
2	Сонячні батареї	Сонячна енергія
3	Енергія припливів та відливів	Рух води
4	Енергія біомаси	Розкладання біомаси
5	Електрогенератор	ДВЗ
6	Газогенераторные установки (ГГУ)	Спалювання деревних відходів (піроліз)

Аналіз показав, що найефективнішим джерелом енергії є ГДУ. Це з тим, що ГГУ за певної модернізації може виробляти всі типи енергії, використовувані

МТФ. Паливо (відходи лісопереробки) для ГДУ є найдоступнішим. ГГУ може працювати у будь-який час доби та року, ніж вітрогенератори, сонячні батареї, які залежать від природно-кліматичних умов [3,9]. Для використання ГДУ як джерело енергії в МТФ, розглянемо процес енергоспоживання в МТФ. Молочна товарна ферма працює у 2-х змінах: ранкова та вечірня. У таблиці 1.2 наведено основні показники діяльності літньої МТФ на 50, 75, 100 та 150 голів корів [9]. Аналізом таблиці 1.2 щодо споживання енергії можна обґрунтувати технологічний процес вироблення різних видів енергії.

Таблиця 1.2 - Характеристика діяльності МТФ на 50, 100, 150 голів.

Показники	Поголів'я корів	Поголів'я корів	Поголів'я корів	Поголів'я корів
Обслуговуване поголів'я худоби, голів	50	75	100	150
Середньодобовий надій, кг.	20	20	20	20
Кількість надоєного молока за доїння, л	500	750	1000	1500
Кількість надоєного молока за добу, л	1000	1500	2000	3000
Напування корів (за добу)				
Потрібна кількість води, л	2500	3750	5000	7500
Продуктивність водяного насоса, м3/год	10	10	10	10
Час роботи насоса, год.	0,25	0,37	0,5	0,75
Встановлена потужність електродвигуна, кВт	1,1	1,1	1,1	1,1
Енерговитрати, кВт*год	0,3	0,41	0,55	0,85
Доїння корів (за добу)				
Доїльна установка УДС-ЗБ – кількість доїльних верстатів	4	4	8	8
Кількість доярок, чол.	1	1	2	2
Тривалість доїння, год	4	6	4	6
Встановлена потужність УДС-ЗБ кВт	5,5	5,5	5,5	5,5
Витрата електроенергії на доїння, кВт*год	22	33	22	33
Витрата гарячої води (50-55 0С), л (Підмивання, промивання ДУ, душ)	250	250	300	300
Охолодження молока (за добу)				
Резервуар для охолодження	УМО-1	УМО-2	УМО-1	УМО-2
Місткість, м3	1	2	2	4
Час роботи, год	6	8	6	8
Встановлена потужність, кВт	2,55	3,55	3,35	3.75
Витрата електроенергії на охолодження молока, кВт	15,3	26,8	20,1	30

Енергоспоживання МТФ характеризується споживанням теплової енергії, електричної енергії та механічної енергії. При чому часові інтервали споживання за видами енергії не залежить від кількості корів. У зв'язку з використанням як джерело енергії комплексу з ГДУ необхідно визначити її раціональні режими роботи.

1.2. Аналіз конструкцій газогенераторних установок та технологій їх роботи.

Газогенератори класифікуються [3,6,9]: за родом процесу. У таблиці 1.3 вказані типи газогенераторів, придатні для газифікації того чи іншого виду палива [5,7].

Таблиця 1.3 – Газогенератори різних типів

Найменування палива	Найменування палива	Група	Зміст у %	Зміст у %	Газогенератор	Газогенератор	Газогенератор
Бітумінозні (смолисті)	Древесные чурки, малозольный торф, торф, буревугілля	1-я	Летючих 85-70	Зол и До 4	Зверненого процесу Застосовується	Без горловини	Поперечного
Небітумінозні (безсмольні)	Древесный уголь, древесно-угольные брикеты, торфяной кокс	1-я	30-10	До 4	Застосовується		
	Полукокс, антрацит	2-я	10-5	Більше 4	Застосовується		Застосовується

Даний спосіб отримання піролізного газу набув поширення наприкінці 19 століття. В основі газогенерації лежить піроліз твердого палива, а саме горіння палива (деревини) в збідненому киснем середовищі. Подача повітря складає рівні 30-35% від теоретично необхідного повного горіння [5,13].

Тому можна сказати швидше про кероване тління твердого палива, ніж про горіння.

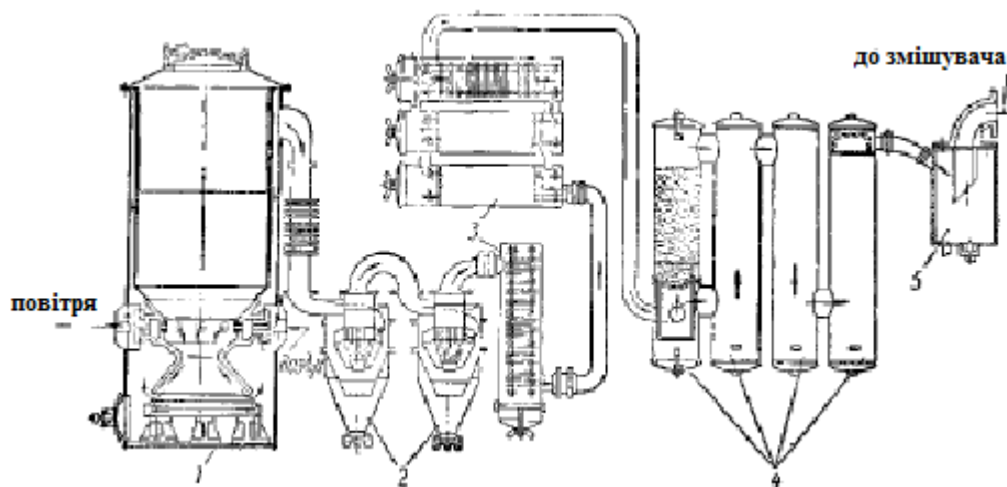


Рис. 1.1 - Газогенераторна установка: 1-газогенератор; 2-фільтр «Циклон»; 3-система охолодження; 4-фільтр тонкого очищення; 5-ресивер.

Температура горіння у газогенераторах становить 900-1200 градусів [5,6,11]. Мале надходження повітря в топку забезпечується заслінками та конструктивно, завдяки чому в процесі низькотемпературного піролізу утворюються горючі гази, які відводяться, очищаються та спалюються в інших пристроях. Наприклад, у газопоршневих двигунах, побутових газових пальниках, віддалених топкових пристроях. Конструктивно піч влаштована так, що забезпечується відділення горючих газів, CH_4 , H_2 від баластних негорючих газів, що входять до складу повітря. Так само передбачається підігрів повітря, що подається в піч, теплом відведених газів. Застосування цих заходів забезпечує ККД газогенераторної установки близько 85% [7]. Обсяг палива, що генерується, становить приблизно 4,2 м³ на 1 кг спаленого палива [8]. Як паливо в газогенераторах використовуються тріска з розміром до 50 мм і, приблизно, 20% тирси [5,7]. Є установки з використанням паливної суміші торф'яної крихти, зернових відходів, харчової упаковки. Вологість суміші, що подається до 20% [7,12]. Є конструкції, що передбачають вологість палива до 60% і досушування суміші в процесі

подачі в топку: подача паливної крихти відбувається поступово і просохнути вона встигає до попадання в зону горіння [7,10]. У промислових газогенераторах подача палива проводиться шнеком, обертання якого забезпечується від електродвигуна з частотою обертання, що регулюється. У невеликих установках – подача палива з бункера до зони горіння.

Особливістю газогенераторних установок є відсутність димлення, оскільки при повільному горінні вуглець не виноситься з газами, що відходять, перетворюючись в газову суміш. Теплотворна здатність газової суміші дещо нижча від природного газу, але цілком достатня для використання такого газу в побуті і для двигунів внутрішнього згорання. Для середніх та малих сільськогосподарських підприємств, деревообробних виробництв застосування газогенераторних установок є найбільш ефективними. Якщо немає необхідності в генераторному газі, ГДУ працюють як ефективні теплогенератори, забезпечуючи потреби в тепловій енергії (міні котельні) для технологічних потреб та опалення або просто для нагрівання води. Дуже ефективним є застосування ГДУ на деревообробних підприємствах для сушіння деревини та утилізації деревних відходів, тим самим вирішуючи екологічну проблему [5,13]. При використанні палива відходів деревообробки власного виробництва економічний ефект зростає. Досвід експлуатації опалювального обладнання з використанням газогенераторів у складі сушильних камер показує, що термін їхньої окупності знаходиться в межах від 2-х місяців до 1 року [9].

Застосування газогенераторних установок розробки альтернативного палива для електрогенератора показує, що економічно вони ефективніші, ніж інші види малої енергетики. Це пов'язано насамперед з невисокою вартістю обладнання та можливістю використання відходів виробництва, сміття, бур'янів, відходів сільськогосподарської продукції. У Сибіру було зроблено підрахунок економічної ефективності застосування газогенераторних установок замість дизельних генераторів. Економія з палива склала 13 разів, термін окупності установок від 1,2 до 3,1 років [9]. При цьому було вирішено

низку екологічних проблем із необхідністю утилізації відходів лісопереробки та лісових завалів.

1.3. Паливо для газогенераторних установок.

Деяку проблему складає заготівля палива та його підготовка для спалювання у МДУ. Технічно ця проблема легко вирішувана. На ринку існує широка пропозиція різного роду дробарок та подрібнювачів, як мобільних, так і стаціонарних. Якщо виконувати всі вимоги до вирубок, то після них на лісосіці не повинно залишатися відходів деревини. Мобільні подрібнювачі деревини повністю забезпечують постачання сировини газогенераторних установок необхідної кондиції [6,11]. Деякі промислові підприємства, що мають газогенераторні установки, не закуповують тирсу і тріску, а отримують гроші за їхню утилізацію. Враховуючи вартість вивезення сміття на звалище та можливі штрафні санкції, підприємствам вигідніше здати сміття за невеликі гроші на спалювання. Основні переваги газогенераторних установок [1,11,21]

- : - Зручність експлуатації, транспортування та зберігання;
- надійність та простота в ремонті;
- низькі ціни на пальне;
- Низький обсяг споживання палива, доступність палива вигідно відрізняє даний тип електрогенераторів від інших;
- практично повна відсутність вихлопів;
- газогенераторну установку можна використовувати як для одержання пального газу, так і для нагрівання води з підключенням до опалювальної системи.

Дана альтернатива отримання енергії (електричної та теплової) є найбільш вигідною та перспективною з перерахованих вище видів отримання енергії для сільськогосподарських підприємств.

Основними показниками якості палива є порода деревини, вологість та розміри деревних чурок [2,5]. Перевага надається деревинам твердих порід:

березі, ясеню, клену, в'язу, модрині. Дерев'яні відходи м'яких порід допускається використовувати лише спільно (впереміш) з твердими у співвідношенні 40/60. Для газифікації в автомобільних ГГУ деревні відходи розпилюють на дрібні частини довжиною від 5 до 7 см, шириною та висотою від 4 до 7 см. Вологість робочого деревного палива не більше 24% [1,7]. Менш поширені газогенераторні установки на деревно-вугільному паливі. Для використання рекомендуються застосовувати вугілля дерев твердих порід. Вугільне паливо дерев м'яких порід, що мають схильність до кришення, допускається застосовувати з додаванням не менше 40% вугілля деревини твердих порід. Параметри шматків вугільного палива ГГУ поперечного процесу - від 5 до 22 мм, інших типів газогенераторів – від 18 до 42 мм [4,9]. Залежно від вмісту золи та смол у паливі, тверді види палива для ГГУ поділяють на смолисті малозольні (золи до 5%) та багатозольні (золи понад 5%), а також на безсмольні, або небітумінозні малозольні (золи до 5%) та багатозольні (золи понад 5%). Для різних видів палива розроблено ГГУ відповідних типів [8]:

- Газогенератори зверненого (зворотного, або «перекинутого») процесу газифікації;

- Газогенератори поперечного процесу газифікації.

ГГУ прямого процесу подача повітря проводиться через колосникові ґрати, а відбір газу проводиться зверху. Власне над ґратами розташовується зона спалювання палив. При спалюванні палива температура в камері газифікації досягає 1300 - 1700 °С [8].

Над камерою газифікації, що займала лише 30 - 50 мм висоти шару палива, знаходиться зона відновлення.

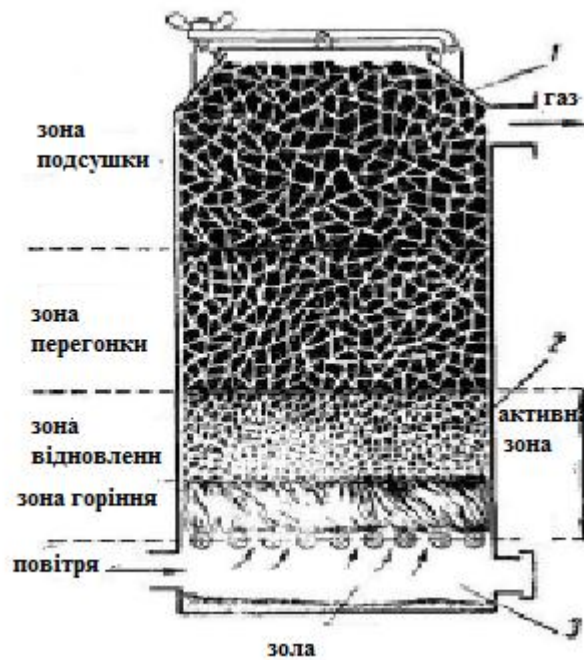


Рис. 1.2 – Схема ГДУ прямого процесу газифікації: 1-бункер; 2-паливник; 3-зольник .

Газовідбірний канал знаходиться на відстані, що дозволяє відвести генераторний газ безпосередньо на його виході із зони горіння [80]. Вода палива не потрапляє в зону горіння, тому вологу в цю зону примусово підводиться шляхом випаровування і змішування з повітрям, що подається в ГГУ. При цьому пари, реагуючи з вуглецем робочого палива, збагачують ГГ воднем, що утворюється, що збільшує потужність ДВЗ. Подача пари в ГДУ здійснюється пропорційно кількості палива, що спалюється в камері газифікації ГДУ. На даний момент існує кілька варіантів регулювання подачі пари в зону газифікації [8]:

- механічний спосіб, коли волога подається у випарник ГДУ за допомогою циркуляційного насоса, який пов'язаний із дросельною заслінкою.

Кількість води, що подається в ГГУ, змінюється залежно від режиму роботи двигуна; - термічний спосіб, коли у випарнику, що знаходиться поблизу камери газифікації, підтримується за допомогою поплавкового механізму необхідну кількість води, а кількість пари, що утворюється, змінюється в залежності від нагріву випарника, тобто в залежності від температури в камері газифікації; - гідравлічний спосіб - це коли витрата рідини змінюється

голкою, що змінює прохідний переріз і пов'язаної з мембраною, на яку діє різниця тисків до та після діафрагми, встановленої в газопроводі, що з'єднує ГГУ з ДВЗ;

- пневматичний спосіб, у якому подача води здійснюється у випарник ГДУ разом із повітрям, через карбюратор. У параметрах ГДУ ЦНПАТ-АГ-2 (рис. 1.3) використовується принцип центрального підведення повітря та центрального відбору генераторного газу.

Газогенераторна установка складається з корпусу, конічної камери газифікації та зольника [4,8]. Верхня частина корпусу газогенератора служить паливним бункером і є циліндрична ємність для води. Патрубок для подачі рідини розташовується всередині ГГУ, ємність води підігрівається тепловою енергією від палива, що згоряє, в камері газифікації. Це забезпечує надійність роботи газогенераторної установки в холодну пору року. Камера газифікації ГГУ складається з горловини конічної форми, яка знизу охоплена сорочкою, заповненою рідиною для вироблення водяної пари. Підтримка необхідної кількості рідини у водяній сорочці здійснюється за допомогою механізму поплавця. Зміна кількості пари, що утворюється, проводиться в залежності від теплового режиму газогенераторної установки [3,8].

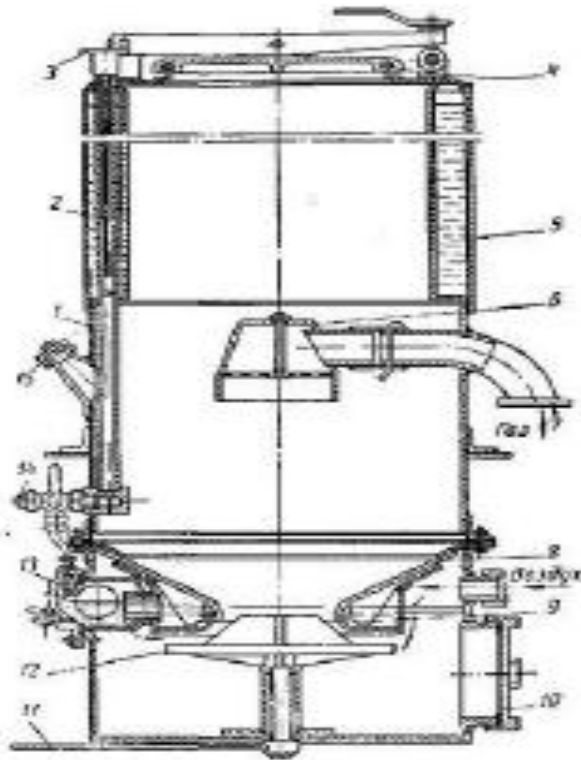


Рис. 1.3 – Газогенераторна установка ЦНДІАТ-АГ-2 прямого процесу газифікації: 1-корпус; 2-шуп; 3-пробка; 4-завантажувальний люк; 5-бак для води; 6-газовідбірний ковпак; 7- газовідбірний патрубок; 8-камера газифікації; 9-сорочка випарника; 10-золотниковий люк; 11 - рукоятка для шуровки; 12поворотна плита; 13поплавкова камера; 14-триходовий кран; 15-горловина для шуровки ломом.

У таблиці 1.5 наведено дані щодо складу генераторного газу, отримані при газифікації вугільного палива, напівкоксу, антрациту та торф'яного коксу в ГДУ ЦНДІАТ-АГ-2 [8,16].

Таблиця 1.4 - Дані щодо складу генераторного газу ДДУ ЦНДІАТ-АГ-2.

Тип газогенератора	паливо	Витрата води у % до витрат палива	Склад газу % за обсягом				Теплопровідність газу в ккал/м ³
			CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	
ЦНИИАТ-АГ-2	Антрацит	30	6,0	24,0	15,4	0,5	1169
	Полукокс	25	3,1	30,2	8,64	2,64	1370
	Деревинне вугілля	48	5,75	27,1	12,9	3,35	1440

У ГГУ прямого процесу не використовуються деревні палива, це у свою чергу пов'язано з присутністю великої кількості смол у ГГ, у зв'язку з чим він є не придатним для застосування як паливо для двигуна, так як при подальшому охолодженні газу дані смоли конденсуються в патрубках і всмоктувальній системі ДВЗ, порушуючи його працездатність. Усе це слід враховувати під час проектування ГГУ.

1.4 Газогенератори поперечного (горизонтального) процесу газифікації.

У ГГУ поперечного процесу (рис. 1.4) подача повітря проводиться через отвори (фурму), розташовані збоку в нижній частині. Забір генераторного газу проводиться через ґрати, розташовані навпроти фурми, з боку патрубка [8,15]. Зона горіння зосереджена на маленькому просторі між кінцем форми та газовідбірними ґратами. Після неї розташовується зона сухої перегонки, а далі – зона підсушування робочого палива.

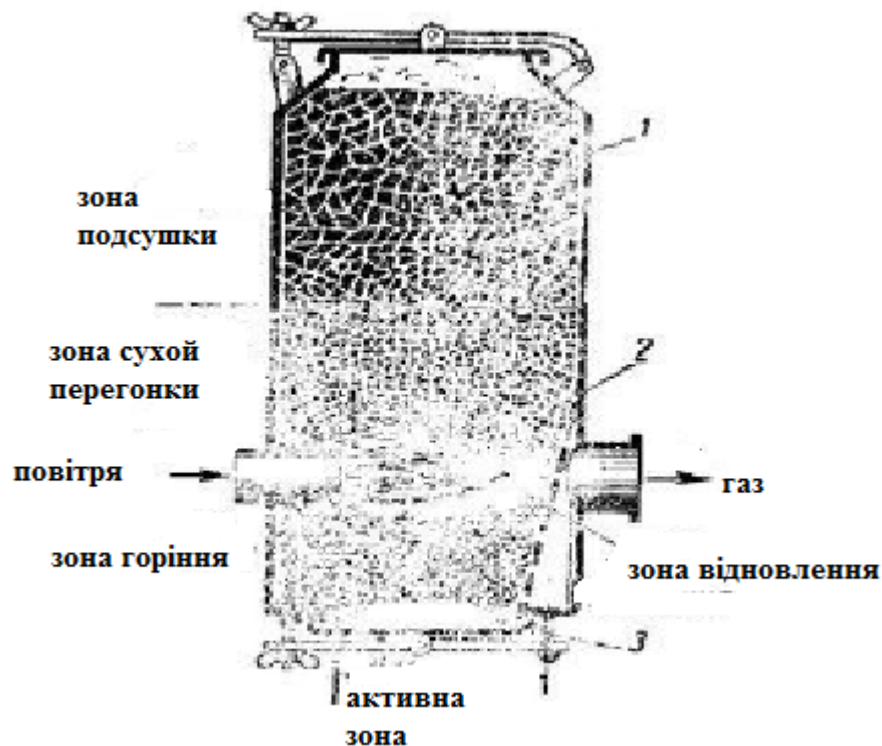


Рис. 1.4 - Схема газогенераторної установки поперечного процесу: Паливний бункер; 2-паливник; 3-зольна решітка.

У таблиці 1.5 представлені продукти піролізу, змішуючись із ГГ, збагачують компонентами – метаном CH_4 та окисом вуглецю CO . За всіх інших рівних умов теплопровідність генераторного газу буде тим вищою, чим більше легких міститься в робочому паливі. Але при вмісті летючих більше 32% кількість смоли в генераторному паливі перевищує допустиму величину [7,11].

Таблиця 1.5 – Склад газу ГДУ поперечного процесу газифікації.

Паливо	Склад в % по об'єму						Теплопровідність газу в ккал/м ³	Потужність двигуна ГАЗ-42 в к.с.
	CO_2	CO	H_2	CH_4	O_2	N_2		
Деревинне вугілля	3,2	30,3	7,0	2,0	0,2	57,3	1270	32,3
Антрацит	3,1	28,1	2,7	1,2	0,2	57,3	1024	26,7

Відмінною особливістю ГГУ даного типу є локалізація вогнища горіння в малому обсязі та ведення процесу піролізу за високої температури. Це забезпечує ГГУ поперечного процесу хорошу пристосовність до зміни режимів та знижує час запуску початку піролізу.

Газогенератори оберненого процесу (рис. 1.5) призначені для газифікації смолистих видів твердого палива - відходів деревини та деревного вугілля [8,10,17]. У ГГУ цього подача повітря здійснюється у середню частину, де відбувається процес піролізу. Відбір отриманого ГГ проводиться нижче за повітровод.

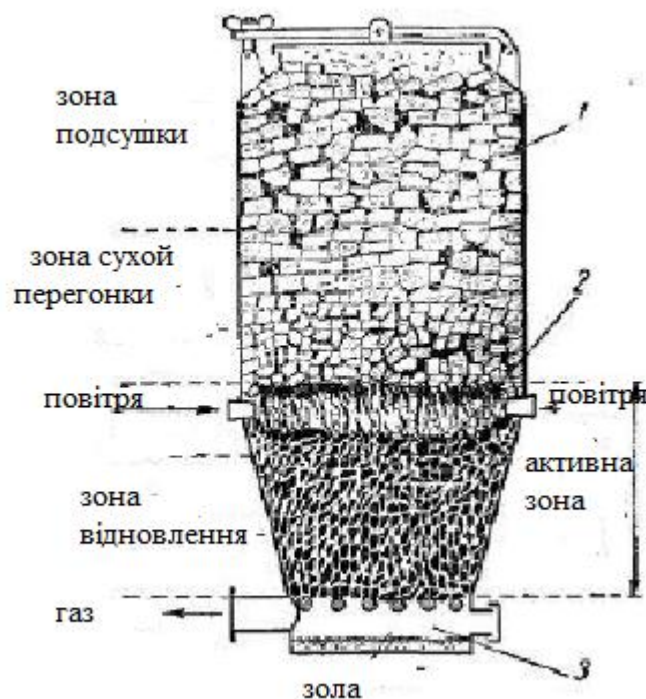


Рис. 1.5 – Схема газогенератора оберненого процесу газифікації: 1-бункер; 2-паливник; 3-зольник.

У газогенераторах зверненого процесу газифікації гарячий генераторний газ застосовується для підігріву робочого палива паливному бункері. Внаслідок чого покращується осад палива, так як усуваються прилипання смолистих шматків палива до стінок паливного бункера, і в результаті чого підвищується стійкість роботи ГГУ. Газогенераторна установка ГАЗ-42 (рис. 1.6) складається з циліндричного корпусу 1,

виконаного з 3-міліметрової сталі, завантажувальної кришки 2 та внутрішнього паливного бункера 3, [11,18].

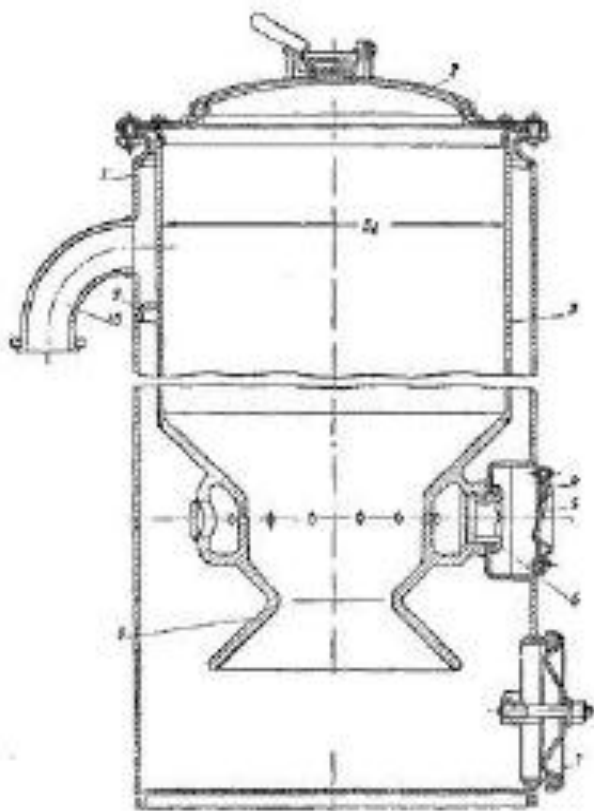


Рис. 1.6 - Газогенератор ГАЗ-42: 1-корпус; 2-завантажувальна кришка; 3-паливний бункер; 4-клапанна коробка; 5-зворотний клапан; 6- футорка; 7-золотниковий люк; 8-спідниця камери газифікації; 9-відбивач; 10-газовідбірний патрубок.

Нижня частина ГГУ служить зольником, який періодично очищається через зольникові дверцята 7. Рівномірний відбір газу проводиться відбивачем 9, привареним до внутрішньої стінки корпусу 1 з боку патрубку 10. Для повного спалювання смол, особливо при малих навантаженнях ГГУ, камері газифікації для цього розташоване звуження - горловина. Крім зменшення смоли в газі, застосування цієї горловини паралельно призводить до збіднення газу горючими компонентами. На величину одержуваної потужності впливає узгодженість таких параметрів конструкції ГГУ, як прохідний переріз фурм, діаметр камери газифікації по поясу фурмену,

діаметр горловини і висота активної зони. ГГУ оберненого процесу застосовують також і для газифікації деревного вугільного палива. Внаслідок великої кількості вуглецю в деревному куті процес протікає за високої температури. Камера ГГУ НАПІ-Г-15 (рисунок 1.7), складається з 11-міліметрової сталі, має вигляд усіченого конуса. У середній частині газогенераторної установки знаходиться повітропідвідний канал (фурма). Він є виливком грушоподібної форми. У середині цього каналу – лабіринт для підведення повітря на камеру газифікації газогенератора. знаходиться колосникові ґрати, які виймаються через золотникові дверцята при чищенні та розвантаженні відходів продукту піролізу газогенератора. Утворений в камері газифікації газ проходить крізь колосникові ґрати, піднімаючись вгору в газовій сорочці газогенератора і камерою і ДВЗ відсмоктується через газовідбірний патрубок. Газогенератор призначений для роботи на великокусковому деревному вугіллі, з розмірними параметрами 25 мм - 45 мм [11,14].

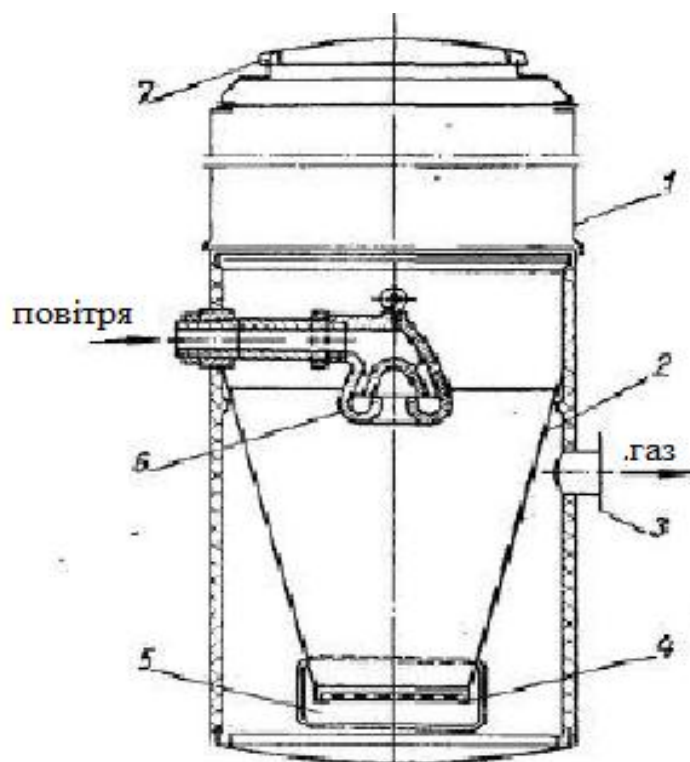


Рис. 1.7 - Газогенератор оберненого процесу для роботи на деревному вугіллі:
 1 паливний бункер; 2-камера газифікації; 3-газовідбірний патрубок; 4- колосникові ґрати; 5-золотникові дверцята; 6-повітряний канал; 7- завантажувальний люк.

Приблизний склад газу, отриманого в газогенераторах зверненого процесу газифікації під час роботи на дерев'яних чурках з абсолютною вологістю 20%, наведено в таблиці 1.7 [11,13].

Таблиця 1.6 - Склад ГГ газогенератора НАТІ-Г-15 оберненого процесу.

Тип палива	Склад газу						
	H ₂	CO ₂	CO	CH ₄	C _n H _m (без смол)	O ₂	N ₂
Деревина	16,1	9,2	20,9	2,3	0,2	1,6	49,7

Газогенераторні установки зверненого процесу газифікації, набули найбільшого поширення. Оскільки заготівля палива для таких ГДУ є найпоширенішим. Таким чином, всі розглянуті ГДУ призначені для вироблення пального генераторного газу для використання в ДВЗ. Разом з тим, найбільш перспективним для використання в енергетичних комплексах з вироблення різних видів енергії (теплової, електричної та механічної) є ГДУ оберненого процесу газифікації.

Енергетичний комплекс з ГДУ може використовуватися для роботи на різних режимах вироблення теплової енергії, електричної та механічної як окремо, так і спільно. Вироблення ГГ відбувається в казані 6, куди

завантажується деревне паливо через люк 5 і при горінні з нестачею повітря відбувається термічне розкладання деревини. На початковому етапі після розпалювання палива відбір газу з котла 6 проводиться розгінним вентилятором 20, до моменту утворення стабільного потоку ГГ. Після цього вентилятор 20 відключається і відбір газу проводиться включенням ДВЗ 15 компресорним пристроєм 19 збору газу. ГГ, що виходить з котла 6 надходить у фільтр 3 грубої очистки, де газ очищається від конденсату, смол і великих частинок. Потім ГГ надходить у систему 2 охолодження і заключному етапі проходить через фільтр 1 тонкої очищення, де стримуються дрібні частинки. У ДВЗ 15 генераторний газ надходить вже охолодженим рівня 20...500С. При роботі ДВС на вихідному валу редуктора 13 момент, що крутить, передається на електрогенератор 12 або на привід 14 доїльної установки. В залежності від потреби очищений газ так само може збиратися компресорним пристроєм 19 для збирання газу в ємності 18 для зберігання газу, з можливістю його подальшого застосування для ДВЗ .

Під час роботи ГДУ виділяється велика кількість тепла, яку можна використовувати для нагрівання води. Для цього котел 6 обладнаний водяною сорочкою, яка з'єднана через систему трубопроводів з водяним насосом 10 та ємністю 12 для зберігання гарячої води. При відкритому вентилі 15 починається циркуляція води в системі швидкість циркуляції регулюється водяним насосом 13. Після того як ємність 12 з водою нагріта до потрібної температури, насос 13 відключається блоком управління 4 і закривається вентиль 15. Нагріта вода може використовуватися для робочих потреб через канал відбору води. Запропонована конструкція енергетичного комплексу багатофункціональна і його можна застосовувати для процесу сушіння насіння, опалення виробничих приміщень, стаціонарного приводу механічних засобів та ін.

2.2. Модернізація газогенераторної установки.

У відомих газогенераторах оберненого процесу спостерігається нерівномірна температура тління за зонами камери газифікації: від 450 до 1100 0С [9]. Нерівномірне нагрівання стінок камери газифікації призводить до негативних явищ, зокрема деформацій поверхні камери, які можуть призвести згодом до руйнування стінок камери газифікації. Поряд з цим нерівномірна температура за обсягом газифікації згоряючого деревного палива, що знаходиться в камері, призводить до неповного і нерівномірного розкладання продуктів горіння, які відкладаються на стінках у вигляді шлаків, що негативно впливає на процеси теплопередачі. З метою усунення вищевикладених проблем модернізували котел газогенератора зверненого процесу (рис. 2.2) [7,13]. Модернізований котел ГГУ містить завантажувальний бункер 12, де відбувається сушіння та попередній підігрів деревного палива. Між бункером і зольною камерою встановлена решітка колосника 1. Корпус завантажувального бункера 12 оснащений водяною сорочкою 6, що має підведення до замкнутої опалювальної системи. Вода може прокачуватись за допомогою регульованого циркуляційного насоса 3. Установка оснащена блоком управління 11. Блок управління може регулювати також подачу повітря в камеру газифікації за допомогою електрокерованої заслінки 2, яка встановлена в 13 каналі підведення повітря. Рівномірність процесу горіння в зоні III-III оцінюється за даними датчиків 8, встановлених у поясі фурмені котла, в ЕБУ 4. При цьому контролюється верхня межа температури. Балон 10 призначений для генераторного газу, який може бути наповнений компресорним пристроєм 16 збору газу в режимі виробітку ГГ. Подача РР в період запуску РР регулюється електрокеруваним клапаном 7.

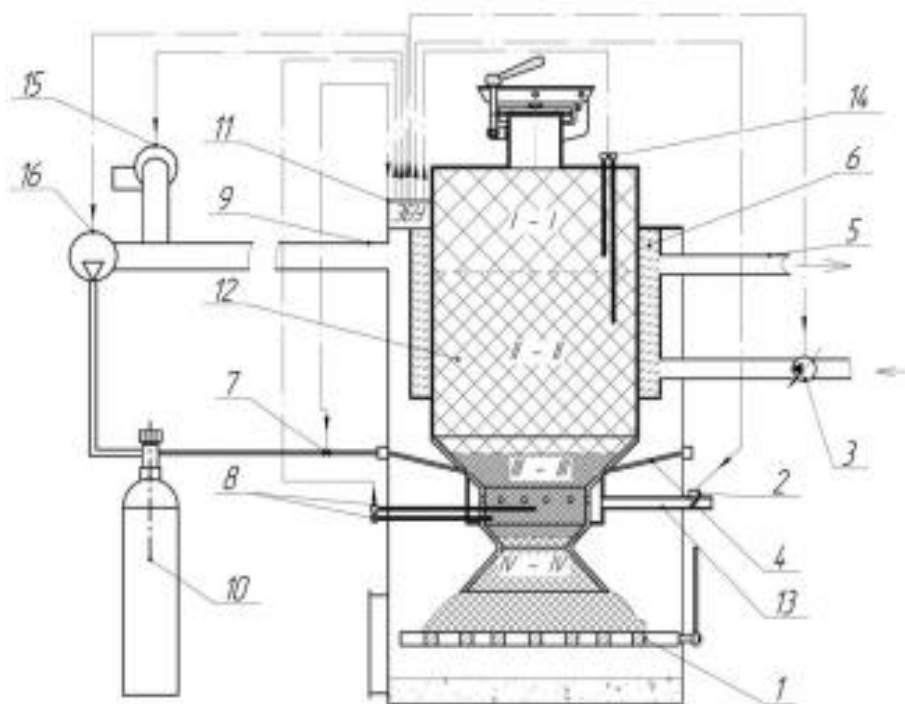


Рис. 2.2 – Модернізований котел ГДУ: 1-колосникові ґрати; 2-електрокерована заслінка; 3-циркуляційний насос; 4-канал подачі ГГ; 5 - канал відведення охолоджувальної води; 6-водяна сорочка; 7-електрокерований клапан подачі ГГ; 8-датчики температури; 9-канал відведення ГГ; 10-балон для ГГ; 11-електронний блок управління; 12-завантажувальний бункер; 13-канал підведення повітря; 14 - датчики температури; 15 - вентилятор; 16 компресор; I-I – зона підсушування; II-II – зона сухої перегонки; III-III – зона горіння; IV-IV – зона відновлення.

2.3. Розробка математичної моделі для розрахунку раціонального розподілу енергії на молочно-товарній фермі.

На наступному етапі досліджень розглядалися питання моделювання роботи енергетичного комплексу для енергозабезпечення на прикладі виробничих МТФ. До граничних умов, що використовуються в математичній моделі енергетичного балансу комплексу, слід віднести також поголів'я худоби, кількість змін, середню температуру повітря та інше.

$$Q_{e.k} = \Sigma Q_{agr.} + \Sigma Q_{пот}, \quad (2.1)$$

де $Q_{e.k}$ - кількість тепла, що виробляється енергетичним комплексом, кДж;

$\Sigma Q_{agr.}$ - Кількість тепла, спрямоване на корисне використання, кДж;

$\Sigma Q_{пот}$ – сума теплових втрат іншого походження, кДж.

$$\Sigma Q_{agr} = Q_1. + Q_2. + Q_3 + Q_4, \quad (2.2)$$

де Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – кількість тепла, що витрачається відповідно для перетворення в механічну, теплову (нагрів води), електричну енергію та підзарядку акумуляторної батареї (АКБ), кДж.

Кількість теплоти, що витрачається на вироблення механічної енергії, визначається залежно від вибору потужності агрегатів енергетичного комплексу, поголів'я корів МТФ, кількості операторів та від вибору виду палива:

$$Q_1 = \eta_{мех} \cdot Q_1' = \eta_{мех} \cdot (Q_{кду} \cdot (n_{кор} \times t_{кор} / n_{ст.}) \cdot Q_{н.т.}), \quad (2.3)$$

де $\eta_{міх}$ - ККД двигуна;

Q_1' – кількість енергії, що витрачається доїльною установкою, кДж;

$Q_{кду}$ -годинна витрата енергії доїльної установки, кДж;

$n_{сот}, n_{кор}$ – кількість доїльних верстатів у МТФ та поголів'я корів МТФ;

$t_{кор}$ – норма часу на доїння 1 корови, год. [14];

$Q_{н.т.}$ – нижча теплота згоряння палива, що використовується, кДж/кг.

Кількість теплоти води, що витрачається на нагрівання:

$$Q_2 = \eta_{теп} Q_2' = ((n_{сот} \cdot V_{сот} + n_{кор} \cdot V_{кор}) \cdot c_v \cdot (t_2 - t_1)) \cdot \eta_{теп.}, \quad (2.4)$$

де Q_2' - необхідна кількість енергії на нагрівання води, кДж;

t_2, t_1 – кінцева та початкова температура теплоносія, °C (K);

$V_{сот}, V_{кор.}$ – норми витрати нагрітої води на оператора та корову, л (кг.) [14];

c_{sv} – питома теплоємність теплоносія (вода), кДж/(кг K) [13];

$\eta_{теп.}$ - ККД нагрівача газогенераторної установки.

Кількість теплоти для перетворення на електричну енергію визначається виходячи з потреби холодильного обладнання та роботи електронасосів:

$$Q_3 = \eta_{хутро} \cdot Q_3' = \eta_{хутро} \cdot (G_{ч} \cdot (Q_{хол} + Q_{нас}) / (Q_{ген} \cdot \eta_{ел.}) \cdot Q_{н.т.}) \quad (2.5)$$

де $Q3'$ – кількість енергії, що витрачається електрогенератором, кДж;

$Q_{хол}$ – кількість енергії, що витрачається холодильним пристроєм, кДж;

$Q_{нас}$ – енергія, що витрачається водяним насосом, кДж;

$Q_{ген}$ – продуктивність електрогенератора, кДж/год;

$Gч$ – годинна витрата палива ДВЗ, кг/год (мЗ/год);

$\eta_{ел}$ – ККД електрогенератора.

Кількість теплоти для підзарядки АКБ:

$$Q4 = \eta_{мех} \cdot Q4' = \eta_{мех} (Gч \cdot (Q_{хол} + Q_{нас} + Q_{осв})) / (Q_{ген} \cdot \eta_{ел} \cdot Q_{н.т.}), \quad (2.6)$$

де $Q4'$ – кількість енергії, що витрачається електрогенератором на підзарядку АКБ;

$Q_{осв}$ – кількість енергії, що витрачається на нічне освітлення, кДж.

Втрати тепла під час роботи енергетичного комплексу [13,15]:

$$\Sigma Q_{пот} = Q5 + Q6 + Q7, \quad (2.7)$$

де $Q5$ – втрати при охолодженні та очищенні генераторного газу, кДж;

$Q6$ – втрати від хімічної неповноти горіння, кДж;

$Q7$ – втрати від механічної неповноти горіння, кДж.

Втрати від хімічної неповноти горіння:

$$Q6 = V_{cr} \cdot (126,5CO + 108,1H_2 + 358,2CH_4), \quad (2.8)$$

де CO , H_2 , CH_4 – відповідно вміст окису вуглецю, водню та метану в продуктах згоряння у % за обсягом;

V_{CR} – обсяг сухих газів, мЗ/кг..

Втрати від механічної неповноти згоряння:

$$Q7 = Q_p + Q_{тмл} + Q_f, \quad (2.9)$$

де Q_p – втрати тепла при спалюванні деревного палива в шарових топках, що відбуваються через провал частини палива між колосниками, кДж;

$Q_{тмл}$ – втрати тепла з недопалом у шлаку, кДж;

Q_f – втрата тепла з винесенням, відбувається через винос з топки з димовими газами дрібних частинок незгорілого палива, кДж.

$$\text{Втрати при охолодженні та очищенні ГГ: } Q5 = Z_{гор} \cdot V_{г} \cdot (t_{yx} - t_{в}), \quad (2.10)$$

де V_{Γ} – повний обсяг продуктів згоряння 1 кг палива, тобто. обсяг газів на виході газогенераторної установки (обсяг повітря, що надійшло в топку плюс обсяг ГГ, від згорілого деревного палива), м³;

згоряння – теплоємність ГГ, Дж/кг·К [15];

$t_{\text{ух}}$ - температура виходять ГГ, ° С (К);

$t_{\text{в}}$ - температура повітря, ° С (К).

Результати чисельних досліджень з розробленої моделі представлені рис. 2.3.

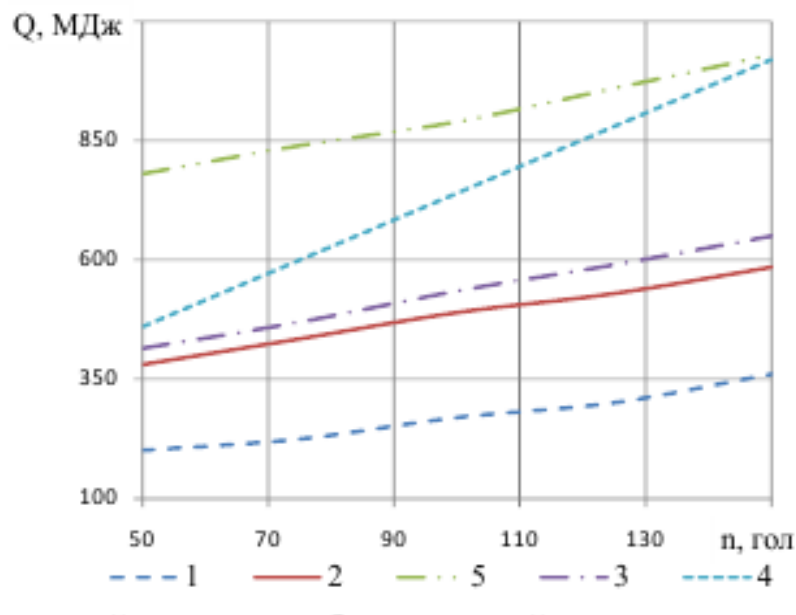


Рис. 2.3 – Витрата енергії енергетичного комплексу за різних режимах його роботи : 1-комплексний режим виробітку енергій з нульовими втратами; 2-комплексний режим виробітку енергій з урахуванням втрат; 3-режим вироблення тільки теплової та електричної енергії з накопичувачами; 4-роздільний режим вироблення видів енергії; 5-режим вироблення енергії без його накопичення.

З усіх варіантів (отримання енергії роздільним шляхом, без накопичення енергії, одержання тільки теплової та електричної енергії та спільне одержання енергії) роботи комплексу, при якому досягається найменша витрата деревного палива, раціональний розподіл енергії за її видами під час роботи енергетичного комплексу у МТФ. Найкращим варіантом роботи комплексу є режим комплексного (теплова та вироблення ГГ, тепла та механічна, тепла та електрична) вироблення енергії та її накопичення без

будь-яких втрат. З урахуванням втрат у комплексному режимі витрата енергії, залежно від поголів'я корів, коливається від 383 450 кДж до 745 380 кДж. За такого режиму роботи енергетичного комплексу досягається його висока ефективність з допомогою поєднання вироблення різних видів енергії. За розробленою моделлю рис. 2.4 представлений баланс енергії енергетичного комплексу Q залежно від виду використовуваного деревного палива $Q_{н.т.}$ та поголів'я корів МТФ пкор.

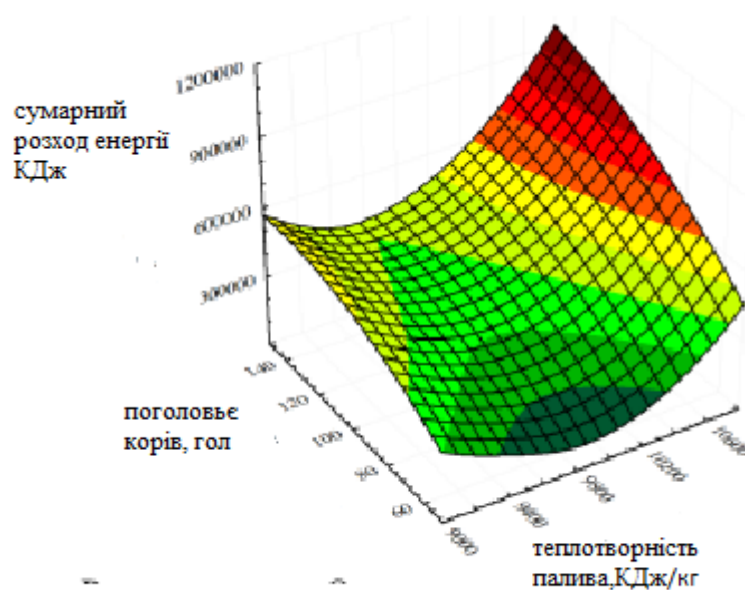


Рис. 2.4 - Витрата енергії Q енергетичного комплексу в залежності від поголів'я корів n і від виду деревного палива, що використовується $Q_{н.т.}$

2.4. Оптимізація конструктивних параметрів газогенераторної установки.

Обґрунтування моделі для оптимізації конструктивних і технологічних параметрів газогенераторної установки. До оптимізованих параметрів відносяться: діаметр котла ГГУ (d_{ki}), температура води на виході з котла (t_{vki}''), діаметр спіралі змійовика (d_{ci}), швидкість проходження газу в змійовику (v_{oxi}) і діаметр резервуару гаряч.

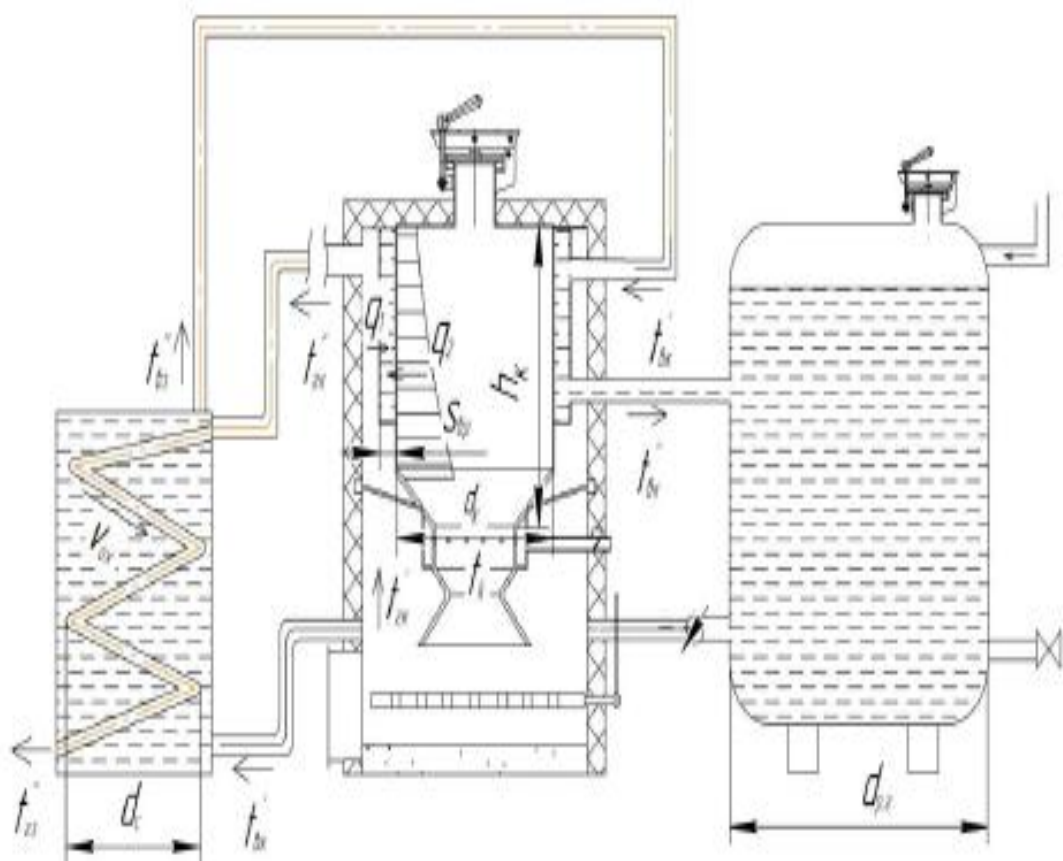


Рис. 2.5 – Розрахункова схема ГГУ оптимізації конструктивних параметрів.

- Маса завантаженого деревного палива: $m_d = 1,2 V_{\text{ч}} \cdot \tau_{\text{ГГУ}} \cdot 3600$, (2.11)

де 1,2 - 20% запасу деревного палива [12,19];

$V_{\text{ч}}$ -витрата деревного палива, кг/год; $\tau_{\text{ГГУ}}$ -час роботи ГДУ за одну зміну, год. - Об'єм котла ГДУ:

$$V_{\text{ГГУ}} = m_{\text{дрд}}, \quad (2.12)$$

де ρ_d - щільність деревного палива, кг/м³ [15];

- Висота котла ГДУ: $H_k = 4 V_{\text{ГГУ}} / (\pi \cdot d_{ki})$, (2.13)

де d_{ki} -діаметр котла, м.м.

- Висота водяної сорочки котла: $H_{p'} = H_k - h_{k'}$, (2.15)

де $h_{k'}$ - не опалювана висота котла, м.

- Діаметр водяної сорочки котла: $d_{v.p} = d_{ki} + 2b_k + 2S_{v.p}$, (2.16)

де b_k -товщина котла ГДУ, м;

$S_{v.p}$ -зазор водяної сорочки котла, м.м.

- Діаметр газової сорочки котла: $d_{г.р}=d_{в.р}+2b_{в.р}+2S_{г.р}$, (2.17)

де $b_{в.р}$ -товщина стінки водяної сорочки котла ГГУ, м;

$S_{в.р}$ - зазор газової сорочки котла, м.

Для оптимізації конструктивних параметрів необхідно обчислити тепломассообмен ГГУ [12].

- Максимальна температура у котлі ГДУ:

$$t_{k.max}=206,167+69V_{ч}, \quad (2.18)$$

- Середня температура води в резервуарі: $t_p = t_{вк} - \Delta t_{гв}$, (2.19)

де $t_{вк}$ - температура води на виході з котла, °С;

$\Delta t_{гв}$ — зміна температури води за час зберігання, °С.

- Потреба у гарячій воді на підмивання корів

$$V_{кор}=q_k \cdot n_{кор} \cdot (t_{п}-t_{вз}') / (\Delta t_p - t_{вз}'), \quad (2.20)$$

де q_k - витрата теплої води 55°С на підмивання 1 корови, м3/кор [19];

$n_{кор}$ - оголов'я корів МТФ, голів

$t_{п}$ - температура теплої води для підмивання корів, °С [18];

$t_{вз}'$ —початкова температура води, °С;

Δt_p - середня температура води в резервуарі, °С;

Визначення параметрів ємності гарячої води (рис. 2.6):

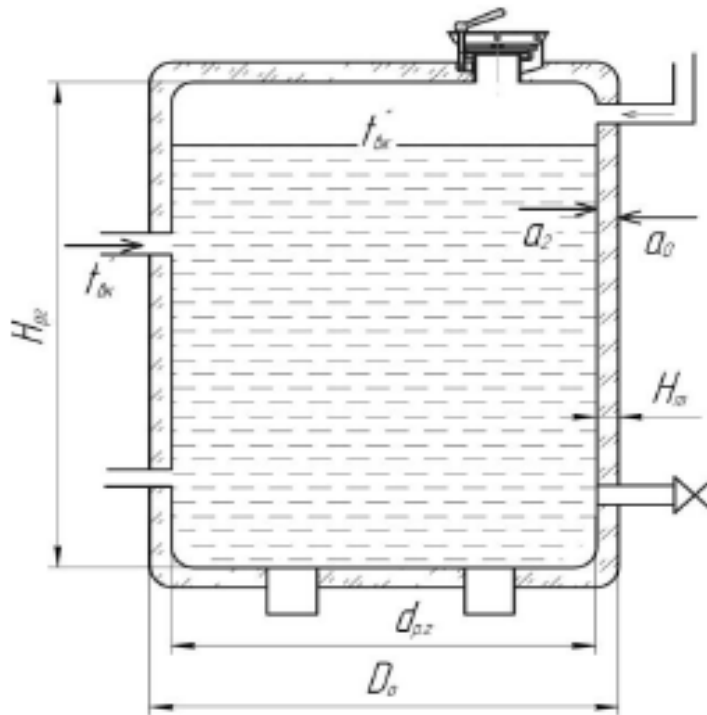


Рис. 2.6 - Резервуар гарячої води.

- Об'єм ємності гарячої води: $V_{гр} = 1,1 V_{г}$, (2.21)

- Висота резервуару для гарячої води: $H_{гр} = 4 \cdot V_{г}^{1/3} \cdot d_{гр}^2$, (2.22)

де $d_{гр}$ – діаметр резервуару гарячої води, м;

- Маса гарячої води: $m_{в} = V_{г} \cdot \rho_{в}$ (2.23)

- Площа поверхні резервуару [21]:

$$F_{гр} = 2\pi d_{гр}^2 + H_{гр} \pi d_{гр}, \quad (2.24)$$

- Потрібний коефіцієнт теплопередачі резервуару гарячої води:

$$k_2 = m_{в} c_{в} \Delta t_{гв} / (F_{гр} \cdot (\Delta t_{п} - \Delta t_{гв} / 2 - t_0) \cdot T_{в}'), \quad (2.24)$$

де $c_{в}$ - теплоємність води, Дж / (кг · град) [22];

t_0 - температура навколишнього середовища, ° С;

$T_{в}'$ – час зберігання гарячої води, с;

На прикладі МТФ на 100 голів великої рогатої худоби проведено оптимізацію конструктивних та технологічних параметрів енергетичного комплексу (рис. 2.7).

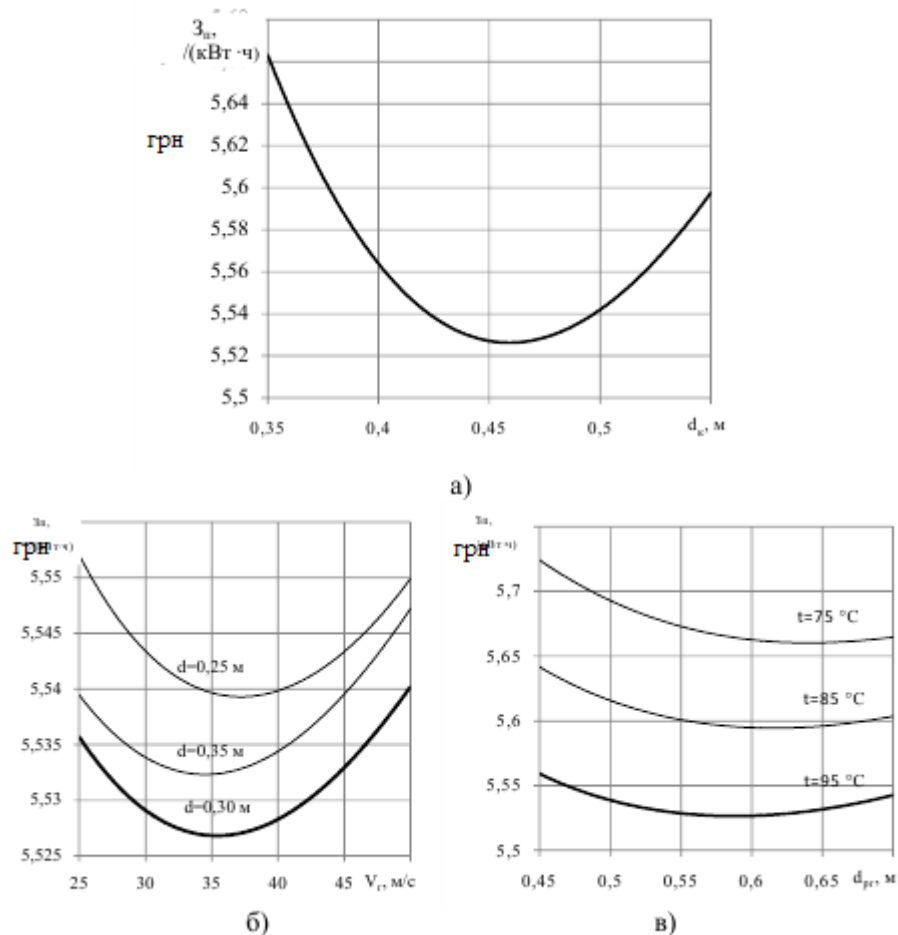


Рис. 2.7. – Залежність питомо-наведених витрат від: а) діаметра котла ГДУ; б) швидкості ГГ в змійовику охолоджувача при різних діаметрах спіралі змійовика; в) діаметр резервуару гарячої води при різних температурах гарячої води.

В результаті оптимізації конструктивних параметрів ГДУ було визначено її оптимальні значення: діаметр котла ГДУ – $d_k=0,46$ м ; швидкість ГГ у змійовику охолоджувача - $v_{oxi}=37$ м/с при діаметрі спіралі змійовика $d_s=0,30$ м. (рисунок 2.7б); діаметр резервуару зберігання води - $d_{p.v}=0,58$ м. при температурі води на виході з котла $t_{в.к}=95^\circ\text{C}$ і при зазорі водяної сорочки $S_{в.р}=0,035$ м.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

3.1. Результати досліджень енергетичного комплексу в режимі роздільного вироблення енергії.

Метою проведення експериментів було перевірити результати теоретичних досліджень. За результатами теоретичних досліджень щодо оптимізації конструктивних та технологічних параметрів газогенераторної установки було зібрано експериментальний зразок енергетичного комплексу на базі газогенераторної установки, оснащений локальним підігрівом (рис. 3.1), на яку отримано патент [26].



Рис. 3.1 – Дослідна установка: 1 – газогенераторна установка; 2 - ємність для зберігання нагрітої води; 3 – пристрій для збирання та зберігання генераторного газу; 4 – ДВЗ; 5 – пристрій визначення потужності ДВС; 6 – газоаналізатор; 7 – персональний комп'ютер; 8 – датчики температури.

Відмінною особливістю даної установки є оснащення локальним підігрівом котла газогенераторної установки, що дозволяє одержувати якісний генераторний газ і збільшить термін служби установки за рахунок

врівноваження температури горіння по всьому об'єму камери газифікації за рахунок подачі частки генераторного газу по краях камери газифікації.

На початковому етапі досліджень було проведено експериментальні дослідження з оцінки працездатності та перевірки теоретичних передумов модернізації ГДУ. У початковому етапі після розробки конструкції було досягнуто організації якісного процесу піролізу та отримано якісний ГГ та проведено перевірку його на займання (на рис. 3.2 представлений факел, що горить) [8,16].



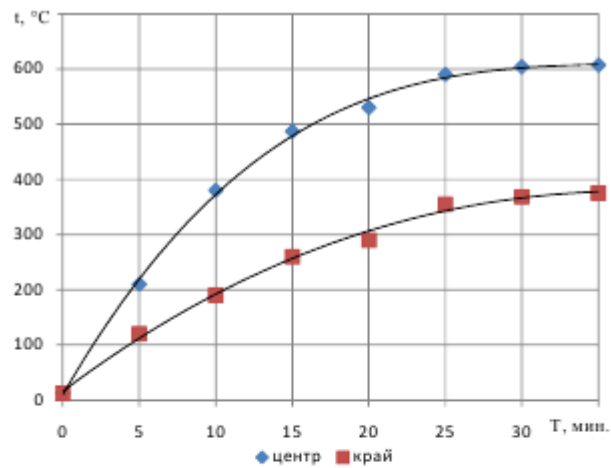
Рис. 3.3. Запалення генераторного газу: а) до займання; б) після займання.

Якість генераторного газу, що виробляється, оцінювалося кольором його горіння. Якщо ГГ горів злегка жовтуватим чи майже помітним для людського погляду, то ГГ вважався якісним, і якщо в кольорі горіння ГГ був яскраво жовтий колір, то газ вважався неякісним. Проведено оцінку працездатності двигуна на ГР. Подача ГГ двигун здійснювалося через карбюратор. На рис. 3.3 представлені зміни системи подачі палива (сумісоутворення) ДВЗ [6,17].

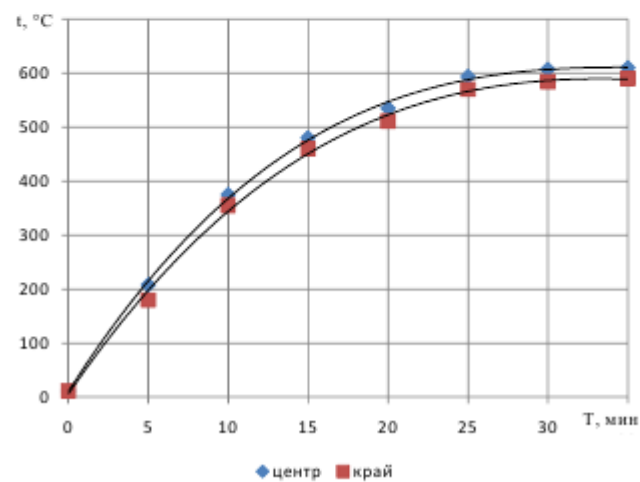


Рис. 3.3. – Подача генераторного газу.

На третьому етапі було проведено дослідження з перевірки теоретичних передумов модернізації камери газифікації ГГУ локальним підігрівом, що врівноважує температуру термічного розкладання деревини по всьому об'єму камери газифікації. На рис. 3.4 представлені графіки температури в центральній та крайній частині камери газифікації до та після її модернізації [19].



а)



б)

Рис. 3.4 – Зміна температури за об'ємом камери газифікації залежно від тривалості горіння: а) до модернізації; б) після модернізації.

Після модернізації ГГУ температура горіння деревного палива по всьому обсягу врівноважується з невеликою похибкою 3-5%. У центрі горіння температура становила 605-610 °З, а зоні стінок камери становила 580-590 °З, тоді як до модернізації ГГУ температура у центрі камери становила 607-610 °З, а зоні стінок камери газифікації 375-380 °З (відмінність в 1,5. Тим самим було дослідження підтвердили теоретичні передумови модернізації камери газифікації [14].

Таблиця 3.1 – Питома теплота згоряння різних порід деревини.

вид деревини	щільність, ρ кг/м ³	Обємна теплопровідність, $Q_{\text{об}}$ ккал/дм ³
Лиственница	665	2620
Сосна	505	1990
Ель	445	1753
Пихта	375	1478
дуб	690	2658
Клен	690	2674
Ясень	680	2620
Вяз	650	2504
Береза	640	2465
Ольха	525	2022
Осина	495	1907
Липа	495	1907
Тополь	455	1753
Іва	455	1753

На першому етапі експериментів отримали теплову енергію (нагрів води), застосувавши різні породи дерев. Бункер газогенераторної установки був завантажений на 50% (0,035 м³). За отриманими даними, побудували графік температури нагріву води в залежності від тривалості роботи ГДУ (рис. 3.5).

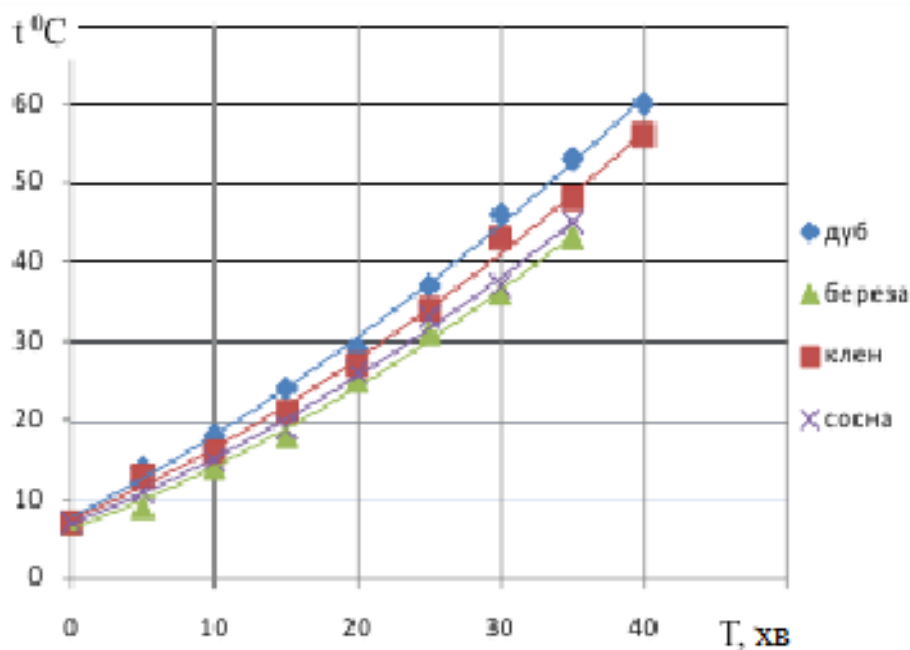


Рис. 3.5 – Зміна температури води з використанням різних порід деревини залежно від часу роботи ГДУ.

Тривалість та температура нагріву води при використанні різних порід деревин відрізняються через різну об'ємну теплотворність деревних палив. Енергія, витрачена на нагрівання води, визначається за формулою [16]:

$$Q_{\text{вод}} = c \times m_{\text{в}} \times t_1 - t_2, \quad (3.1)$$

де c - питома теплоємність води, 4,2 кДж/(кг*К);

$m_{\text{в}}$ -маса води нагрівається установкою (80 літрів), кг;

t_1 -кінцева температура води, ° С;

t_2 .- Початкова температура води, °С.

Визначена за наслідками експериментів кількість енергії на нагрівання води наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Кількість теплоти, отримані при нагріванні води

вид деревини	об'ємна теплотворність $Q_{\text{об}}$, ккал/дм ³	енергія затрачена на нагрівання води $Q_{\text{фак}}$, кДж	необхідна кількість енергії для нагрівання $Q_{\text{вод}}$, кДж
Сосна	1990	31986	11088
дуб	2658	28083	15456
Клен	2674	28083	13776
Беріза	2465	27345	12760

З отриманих даних випливає, що при нагріванні води рекомендується використовувати деревне паливо твердих порід або змішувати їх з м'якими породами. За допомогою термоелектричних набувачів ТП-2088/1 під час нагрівання води було визначено температуру в різних зонах котла газогенераторної установки. Температурні зони представлені рис. 3.6.

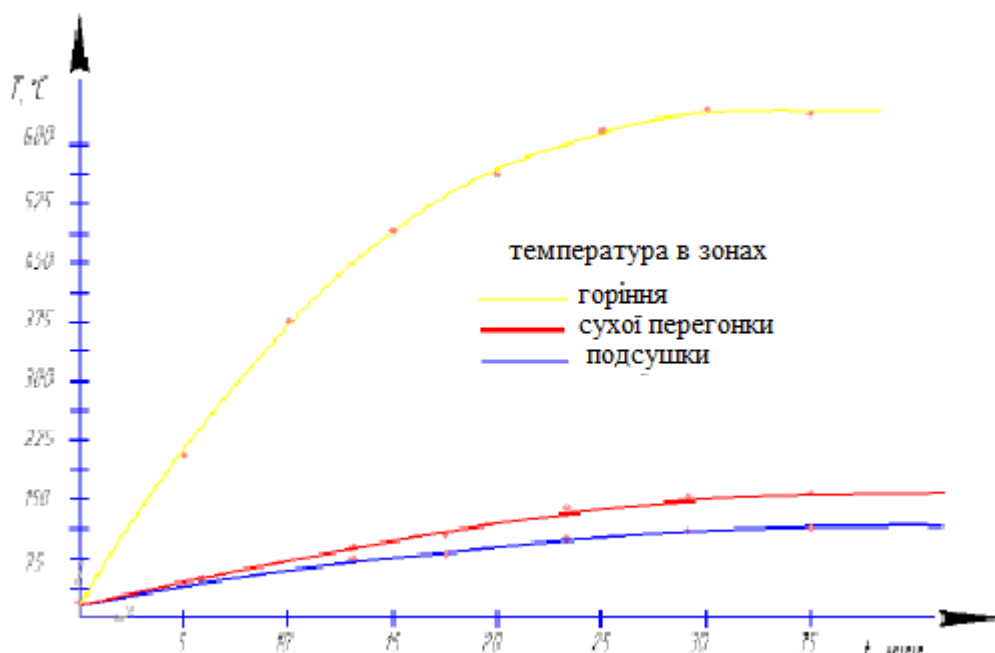


Рис. 3.6 – Зміна температури у різних зонах котла ГГУ від початку запуску установки.

Дослідження щодо визначення температури в котлі ГДУ підтвердили дані отримані під час теоретичних досліджень зміни температури котла за його висотою. Температура в газогенераторі практично однакова при всіх видах порід деревин і складає в зоні горіння 610-620 С. Відрізняється лише тривалість горіння деревини.

3.2. Визначення якості та обсягу генераторного газу.

Проведено дослідження з тими самими видами деревини, що і при отриманні теплової енергії. Було визначено склад генераторного газу під час спалювання деревини тієї самої обсягу завантаження. У таблиці 3.3 подано середні показники складу генераторного газу того чи іншого виду палива.

Таблиця 3.3 – Склад генераторного газу

вид палива	CO, %	CH,ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %
Береза	16-18	720-780	9-11	4-6
Сосна	22-24	810-840	10-12	8-9
Дуб	17-19	790-830	9-11	5-7
Клен	18-20	740-790	8-10	4-6

Висока якість ГГ була отримана з м'яких порід деревини (сосни), вміст компонента CO дорівнює 22-24%. На рис. 3.7 представлений графік зміни складу генераторного газу протягом 30 хвилин.

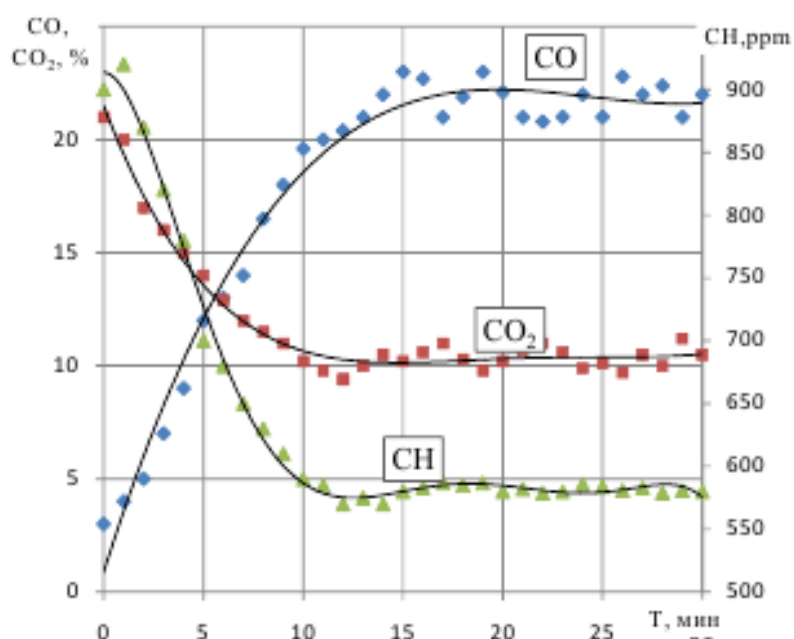


Рис. 3.7 - Зміна складу газу, одержуваного під час газифікації деревини (сосна).

Протягом 15 хвилин із моменту запуску ГГУ склад ГГ змінюється: CO плавно збільшується від 3 до 22 %, а CO₂ знижується від 25 до 9 %, це зміна складу ГГ викликано зі збільшенням температури горіння камери газифікації, що зумовлює поліпшення процесу піролізу. Після 15 хвилин роботи склад ГГ стабілізується і коливається в діапазоні 22-24%, $O_2 = 9-11\%$. Об'єм виробленого газу було визначено за допомогою приладу – анемометра, який визначив швидкість виходу газу з розгінного вентилятора (рис. 3.8).



Рис. 3.8 - Визначення швидкості потоку газу на виході з розгінного вентилятора.

Об'єм виробленого газу з 3 кг дров визначався за формулою:

$$V = \pi \times D^2 \times t \times v \times 4, \quad (3.3)$$

де v -швидкість потоку газу, м/с;

D -діаметр труби, м (0,05); t -час, с.

Отримані результати внесено до таблиці 3.4

Таблиця 3.4 - Об'єм ГГ при газифікації деревини.

вид палива	швидкість газів на виході з розгонного вентилятора м/с	тривалість потоку газів хв	об'єм виробленого газу м ³
Сосна	2,27	38	10,2
Дуб	2,35	36	10,1
Клен	2,36	37	10,3
Береза	2,37	35	10,0

Вихід газу з 1 кг робочого палива коливається від 3,3 до 3,43 м³ при якому нижча теплотворність газу становить 1200 ккал/м³. Швидкість газу залежить від кута відкриття електрокерованої заслінки, подачі повітря. При збільшенні швидкості потоку газів температура котла збільшується, а тривалість процесу

піролізу зменшується. Але слід зазначити, що зі збільшенням швидкості (збільшення подачі повітря) склад газу погіршується.

3.3. Визначення характеристик роботи двигуна.

В енергетичній установці двигун є джерелом механічної енергії як для електрогенератора, так і для доїльної установки молочно-товарної ферми. Для правильного вибору двигуна проводилися експерименти щодо визначення потужності ДВЗ, що працює на генераторному газі за допомогою гальмівної установки. З допомогою гальмівної установки двигун навантажували до його повної зупинки. навантаженням 100-110 Н. За отриманими даними визначили втрати потужності двигуна, обчисливши гальмівний момент.

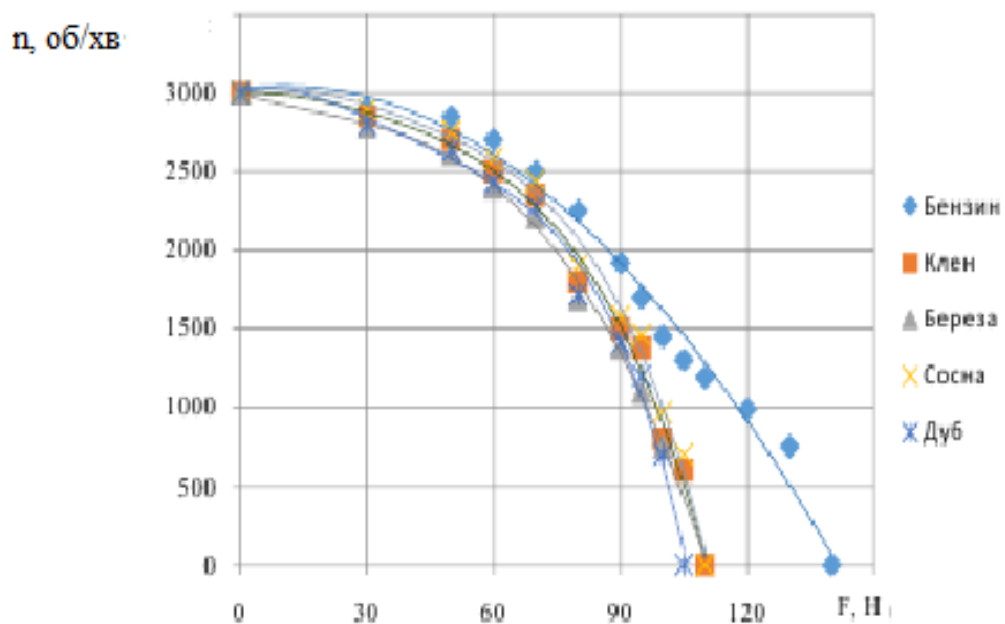


Рис. 3.9 – Зміна частоти обертання колінчастого валу в залежності від навантаження.

Після визначення частоти обертання колінчастого валу двигуна при різних навантаженнях була визначена потужність двигуна, що працює на різних генераторних газах.

Для визначення потужності ДВЗ обчислили гальмівний момент за формулою:

$$M_T = (F_1 + F_3) \cdot r \cdot \eta_{\text{ц}}, \quad (3.4)$$

Визначивши сили, що діють на гальмівні колодки F1 і F3 через відносини:
 $F2 \cdot b = F1 \cdot d$, (4.5) $F2/b = F3/c$, (3.5)

де F1 і F3 – сили, що додаються до колодки, Н;

a, c – плечі сил, які діють колодки, м;

r – радіус барабана, м;

β – кут обхвату накладок, град.;

n – ширина колодки, м;

μ - коефіцієнт тертя (0,3-0,35) [14].

Перший експеримент з визначення потужності було проведено під час роботи на бензиновому паливі.

Максимальне навантаження додається на ДВЗ 130 Н при цьому обороти двигуна склало 700 об/хв.

Після того, як обчислений гальмівний момент, потужність двигуна визначалася за формулою: $N = M_{кр} \cdot \omega$, (3.6)

де $M_{кр}$ - крутний момент двигуна, у разі дорівнює гальмівному моменту M_t , Н·м;

ω – кутова швидкість двигуна, м/с;

$\omega = \pi n / 30$, (3.7)

де n - частота обертання ДВЗ при певному навантаженні мін-1;

Отримані результати подано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Зміна потужності двигуна під час використання різних видів ГГ.

вид палива	навантаження F, Н	крутний момент, Н·м	колова швидкість, с ⁻¹	потужність ДВЗ, кВт
Бензин	130	22,9	314	8,5
ГГ березы	95	21,4	287,8	6,1
ГГ сосны	105	21,7	298,3	6,4
ГГ клена	105	21,5	293,1	6,3
ГГ дуба	100	21,3	295,2	6,2

Двигун на генераторному газі працював стабільно без перебоїв. Потужність ДВЗ в середньому знижується на 28% при моменті, що крутить, 22,5 Н·м і кутовий швидкістю 295 с⁻¹ в порівнянні при роботі на бензиновому паливі. Після визначення втрат потужності ДВЗ проводився вибір двигуна з певною потужністю, необхідний для МТФ з урахуванням втрат потужності при роботі на генераторному газі, а також вибір електрогенератора, що підходить під потужність двигуна та споживаної енергії МТФ.

3.4. Аналіз роботи енергетичного комплексу при суміщеному режимі виробітку енергії.

Другий режим роботи енергетичного комплексу – це суміщений (комплексний): - механічну енергію поєднували з виробленням теплової енергії (нагрів води); - теплову енергію з виробленням генераторного газу; Якщо тепла енергія необхідна для початку зміни роботи МТФ, то частину теплової енергії отримували спільно з отриманням генераторного газу, а другу половину теплової енергії отримували при виробленні механічної енергії. Експериментальним шляхом було визначено показники роботи установки з одержання теплової енергії спільно з одержанням генераторного газу (рис. 3.10).

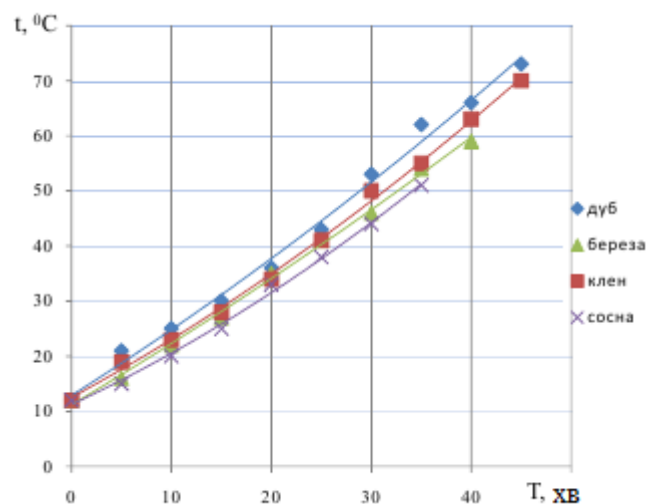


Рис. 3.10 – Зміна температури води з використанням різних порід дерев при одночасному отриманні генераторного газу залежно від тривалості роботи ГГУ.

За отриманими даними можна зробити висновок, що показання теплової енергії відрізняються від показань теплової енергії, отриманий роздільним шляхом, це видно за графіком (рис. 3.11).

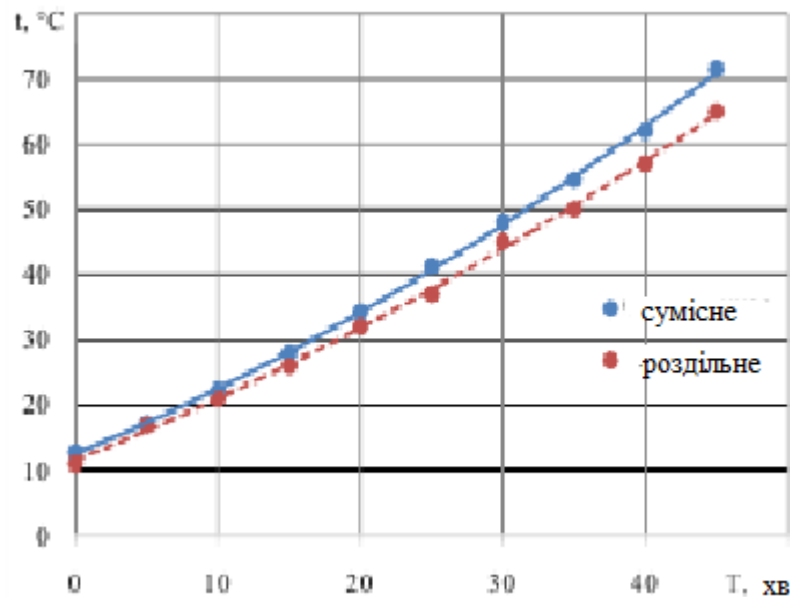


Рис. 3.11 – Зміна температури води при роздільному та комплексному режимі роботи залежно від часу роботи ГДУ.

Різниця температур нагріву води при двох різних режимах пов'язана з тим, що при другому випадку енергія розподіляється не тільки на нагрівання води, але і на вироблення ГГ. Також було знято показники газоаналізатора. Склади та обсяги генераторного газу представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Якість та обсяг генераторного газу, що отримується під час вироблення теплової енергії.

вид деревини	енергія затрачена на нагрівання води і ГГ ГГ $Q_{\text{гвк}}$, кДж	обсяг вирабо- тано- го газу, м ³	CO, %	CH ₄ , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %
Сосна	31986	10,1	14-16	750-790	10-12	5-7
дуб	28083	10,0	18-20	820-840	11-13	6-8
Клён	27980	10,2	15-17	790-820	9-12	5-7
Берёза	27345	9,9	14-17	760-790	9-11	4-7

Так як водяна сорочка негативно впливає на процес отримання генераторного газу шляхом відбору енергії, показники складу газу погіршилися, але не значно, а обсяг ГГ практично не відрізнявся від роздільного режиму виробітку енергії. Цей чинник впливає роботу ДВС (рис. 3.12).

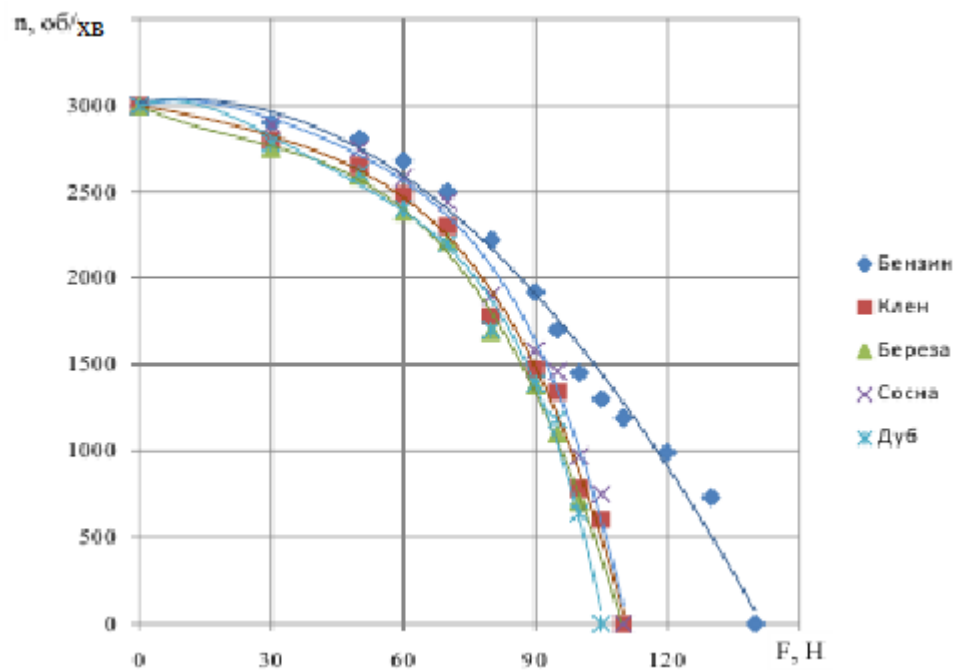
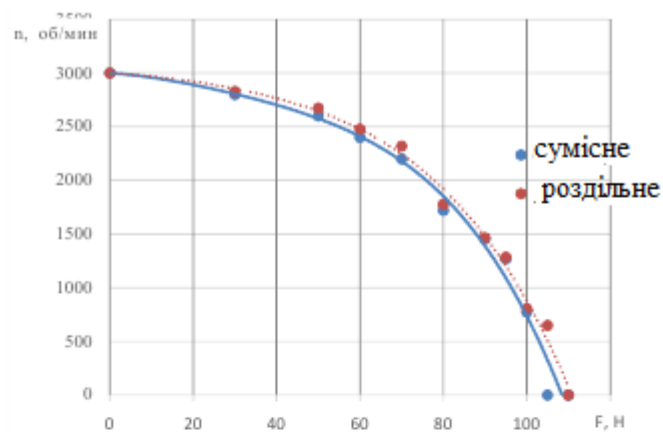


Рис. 3.12 – Зміна частоти обертання колінчастого валу ДВЗ залежно від навантаження при одночасному нагріванні води.

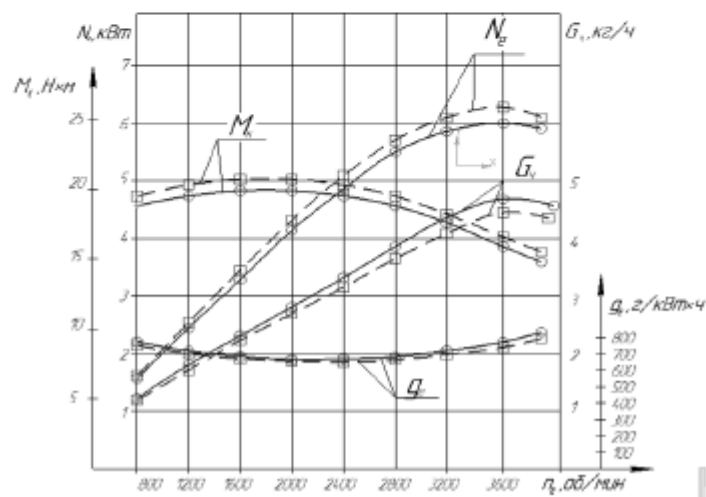
Таблиця 3.7 - Зміна потужності ДВЗ на різних видах ГГ при одночасному отриманні теплової енергії (нагрів води).

вид палива	навантаження $F, \text{Н}$	крутний момент $M, \text{Н}\cdot\text{м}$	колова швидкість $n, \text{с}^{-1}$	потужність ДВЗ $N, \text{кВт}$
ГГ березы	20	20,5	287,8	5,9
ГГ сосны	20	20,8	298,3	6,2
ГГ клена	20	20,6	293,1	6,1
ГГ дуба	20	20,4	295,2	6,0

Двигун працює стабільно на генераторному газі при поєднаному виробленні теплової енергії, але при цьому потужність двигуна знизилася на 3-4%, це видно за графіком (рисунок 3.13), це пов'язано з погіршенням якості ГР.



а)



б)

Рисунок 3.13 – Зовнішні характеристики ДВЗ при роздільному та комплексному режимі роботи ГДУ: а) частота обертання колінчастого валу ДВЗ залежно від навантаження; б) усереднені значення швидкісної характеристики ДВЗ при роздільному ---- та поєднаному _____ режимі.

При комплексному режимі виробітку енергії якість ГГ погіршилася порівняно з роздільним режимом, але незначно, що негативно вплинуло на потужність ДВЗ, а також через погіршення якості генераторного газу збільшується витрата палива на 6%.

3.5. Визначення ККД енергетичного комплексу на різних режимах вироблення енергії.

Для визначення ККД енергетичного комплексу були проведені дослідження впливу зміни кута нахилу електрокерованої заслінки, що визначає кількість подачі повітря в камеру газифікації, на якість ГГ і температуру в камері газифікації (рисунок 3.14).

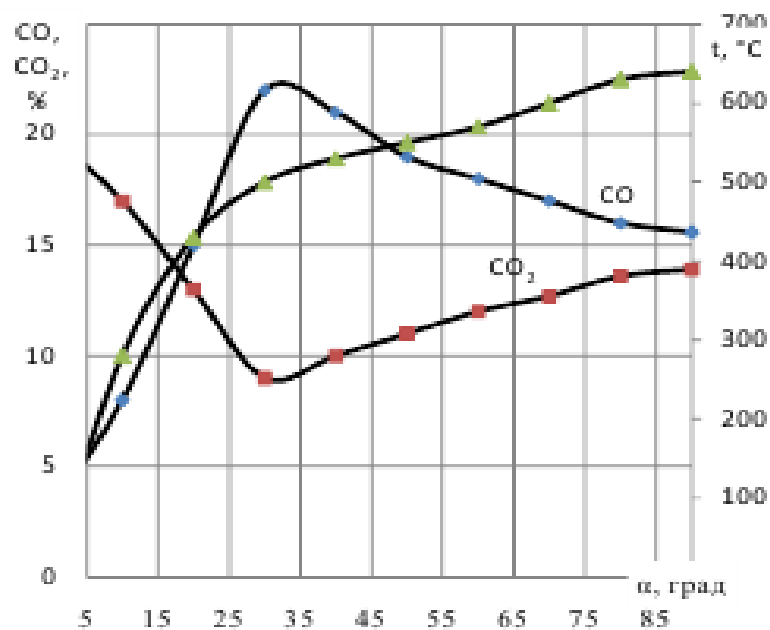


Рис. 3.14 – Характер зміни складу ГГ та температури камери газифікації залежно від кута відкриття електрокерованої заслінки.

При зміні положення електрокерованої заслінки від 0 до 90 градусів були визначені наступні закономірності зміни складу газу (CO, CO₂) і температури камери газифікації: при зміні положення заслінки від 0 до 30

градусів питомий склад газу плавно збільшується від 3 до 22%, компонент CO_2 зменшується від 20 до 9; при цьому положенні заслінки ГГ досягає своєї оптимальної якості. Кількість повітря, що подається, залежить в першу чергу від об'єму камери газифікації. У нашому випадку для досягнення оптимальної якості ГГ досягається при положенні заслінки 30 градусів, а подальше збільшення подачі повітря призводить до не стабільного процесу піролізу. За даним графіком визначили оптимальне положення електрокерованої заслінки $\alpha=30^\circ$, при якому досягався найбільш якісний ГГ, а температура в камері газифікації склала 490°C . На рис. 3.15 представлений графік ККД енергетичного комплексу зі зміною початку виходу на номінальний режим вироблення енергії за рахунок зміни кута нахилу електрокерованої заслінки.

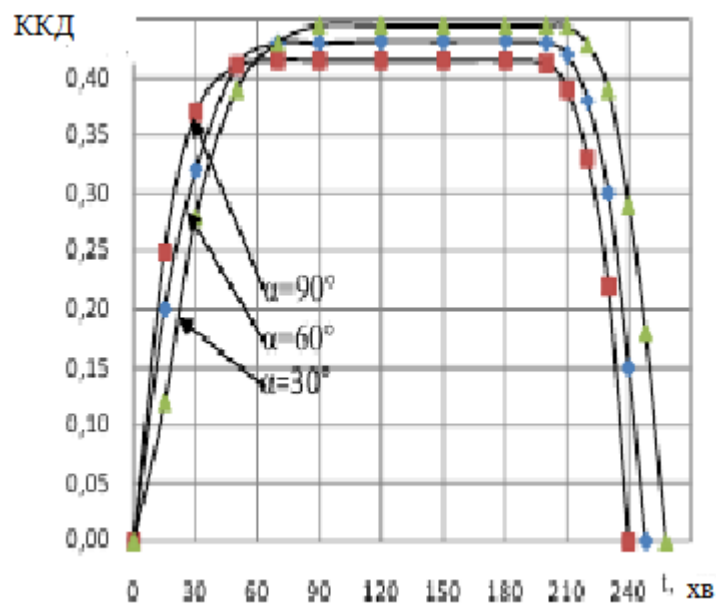


Рис. 3.15 – Зміна ККД газогенераторної установки протягом роботи однієї зміни під час використання деревного палива (сосна) при різному положенні електрокерованої заслінки.

У першому випадку заслінка відкрита на $\alpha=90^\circ$ і вихід на номінальний режим від початку запуску склало ГГУ $t=45$ хв. У другому випадку (положення

заслінки $=60^\circ$) час виходу на номінальний режим склало $t=60$ хв. У третьому випадку (положення заслінки на $=30^\circ$) час виходу на номінальний режим становило 70 хв. При збільшенні подачі повітря в камеру газифікації ГДУ також збільшується і витрата палива. Цей чинник вплинув тривалість роботи енергетичного комплексу, і навіть зміна подачі повітря впливає якість ГГ. При збільшенні подачі повітря якість ГГ погіршується і цим ККД енергетичного комплексу зменшується.

Таблиця 3.8 - Показники роботи енергетичного комплексу за оптимізації суміщеного режиму вироблення енергії.

положення заслінки α , град.	ККД комплексу	час виходу на номінальний режим, хв	якість газу, %			температура в камері газифікації
			CO	CO ₂	O ₂	
30	0,458	70	22-24	9-11	6-8	490-520
60	0,435	60	18-20	10-12	7-9	550-570
100	0,423	45	14-16	11-13	8-10	620-650

Оптимальний склад якості ГГ досягається при положенні 30 градусів нахилу електрокерованої заслінки, де склад газу дорівнює $CO=24\%$ і $CO_2=11\%$. Після оптимізації положення електрокерованої заслінки ($\alpha=30$), також були визначені ККД на різних режимах вироблення енергії. Отримані результати представлені на рис. 3.16 та у таблиці 3.9

Таблиця 3.9. Результати ККД комплексу за різних режимах роботи під час використання різних видів палива із вмістом вологи 18-22 %.

вид деревини	об'ємна теплотворність $Q_{\text{пр}}$ ккал/дм ³	КПД ГГУ по вироботке газу	КПД ГГУ по виробітку теплової енергії (нагрів води)	КПД комплексу по виробітку теплової і механічної енергії	КПД комплексу по виробітку теплової і електричної енергії	КПД енергетического комплексу теплова, електрична, механічна
Сосна	1990	0,269	0,364	0,431	0,421	0,426
Дуб	2658	0,324	0,414	0,496	0,483	0,489
Клён	2674	0,352	0,417	0,503	0,489	0,496
Берёза	2465	0,299	0,396	0,471	0,460	0,466

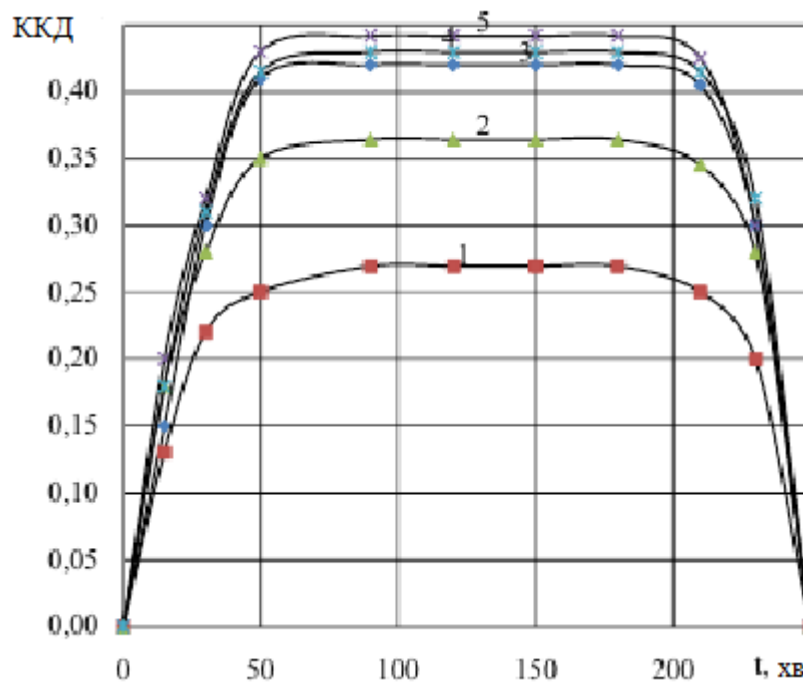


Рис. 3.16 – ККД комплексу за різних режимів роботи на деревному паливі (сосна): 1 - ККД при виробленні ГГ; 2 - ККД при виробленні теплової енергії (нагрів води); 3 – ККД при виробленні електричної та теплової енергії; 4 – ККД при виробленні механічної та теплової енергії; 5- ККД енергетичного комплексу (теплова, механічна та електрична енергія).

Після укомплектування енергетичного комплексу необхідно визначити його режим роботи у малих МТФ. Режим роботи енергетичного комплексу залежить від режиму роботи самої МТФ. На рис. 3.17 подано графік розподілу енергії енергетичного комплексу протягом доби. Завантаження палива проводиться суворо у період між завершенням та початком циклу роботи комплексу. При цьому одне завантаження бункера газогенераторної установки витрачається протягом 4 – 5 годин роботи залежно від виду палива. Режим роботи енергетичного комплексу розтрощили на цикли (I-X).

Цикл	I	II		III	IV	V		VI	VII		VIII	IX	X
Час, год	5	6	7	8	9	10	11-16	17	18	19	20	21	22-3
нагрів води кДж	28385	сумісне					ГО	28385	сумісне				
Газ (ГГ), кДж	18954							18954					
механічна енергія (ДУ), кДж		94678							94678				
холодильний пристрій кДж		-64284		32143					-64284		32142,9		
Подзарядка АКБ, кДж				15197	47339	-32065					15197	47339	
нічне освітлення кДж													8040

Рис. 3.17. - Графічне подання експериментальних результатів розподілу енергії енергетичного комплексу у літній МТФ на 100 голів.

Добова витрата енергії склала 473391 кДж (еквівалент спалювання 52 кг березових дров). Тривалість роботи ГДУ на одному повному завантаженні склала від 4,2 до 5,0 години залежно від палива, що використовується.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано енергетичний комплекс на основі модернізованої газогенераторної установки, що дозволяє одночасно виробляти механічну, теплову та електричну енергію для надійного автономного енергозабезпечення малої молочно-товарної ферми.
2. Обґрунтовано раціональний розподіл енергії за її видами (тепловою, механічною та електричною) залежно від поголів'я великорогатої худоби літньої МТФ. Визначено оптимальні параметри ГГУ для роботи в умовах МТФ на 100 голів великорогатої худоби: діаметр котла ГДУ $K=0,46$ м; швидкість ГГ у змійовику охолоджувача $v_{oxi}=37$ м/с при діаметрі спіралі змійовика $d_c=0,30$ м; діаметр резервуару зберігання води - $0,58$ м при температурі води на виході з котла $= 95^\circ \text{C}$ і при зазорі водяної сорочки $S_{в.р.} = 0,035$ м.
3. Ефективна робота енергетичного комплексу з ККД, що дорівнює $0,426-0,503$ на всіх видах деревини спостерігається в режимах комплексного вироблення теплової, механічної та електричної енергії. Режимним параметром, що визначає ефективну роботу енергетичної установки та період виходу на номінальний режим, є кут відкриття електрокерованої заслінки: при відкритті заслінки на 30° ККД $= 0,445$, час виходу на номінальний режим становить 70 хв; при 60° - ККД $= 0,425$, час виходу - 60 хв; при 90° - ККД $= 0,415$, час виходу на номінальний режим - 45 хв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. Схвалена Кабміном України 18.08.2017. 66с.
2. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів зі спеціальностей 208 – агроінженерія та 133 – галузеве машинобудування / Г. А. Голуб [та ін.]; За ред. Г. А. Голуба. – Київ : НУБіП України, 2017. - 229 с.

3. Трегуб М. І. Козирський В.В. Підвищення енергоефективності автономних сільськогосподарських вітроенергетичних систем // Нова тема. – 2010. – №2. – С.47-50.
4. І. І. Мартиненко, В. А. Музиченко. Проблеми, перспективи та результати досліджень по використанню електротехнології в сільськогосподарському виробництві // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – № 3. – С. 32 – 40.
5. Дизельна електростанція АД-160. Електронний ресурс <http://www.ms-el.com/generator/zalivka/dizelot30/AD160yamz.html>.
6. Скляр Р. В., Комар А. С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. Міжн. ел. наук.-пр. журнал WayScience. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.
7. Болтянська Н.І. Зміни техніко-експлуатаційних показників МЕЗ під впливом на них надійності. Вісник ХНТУСГ. 2009. Вип.89. С. 106- 111.
8. Sklar O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. Condor Publishing House. 2018. 380 p.
9. A. Holubenko, N. Tsyvenkova, M. Tregub. Experimental studies of structural and technological parameters of a downdraft.
10. Технології та обладнання для використання поновлювальних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / За ред. Кравчука В.І., Дубровіна В.О. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. 2010. 184 с.
11. Болтянський О.В., Екологічна безпека виробництва та зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. Науковий вісник НУБіП. Серія Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип.212, ч.1. С. 275-283.

12. Skliar A. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. Modern Development Paths of Agricultural Production. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 249- 258.
13. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production». 2019. Uman. 18-20.
14. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.
15. Журавель Д.П., Паламарчук І.П., Уминський С.М., Паламарчук В.І. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: Підручник для здобувачів вищої освіти. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2021. 448 с.
16. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=2451832252/
17. Захарченко О. М. Покращення паливної економічності та екологічних показників автомобілів раціональним використанням бензинів з добавками біоетанолу: дис. ... канд. наук: 05.22.20 / Захарченко Олексій Миколайович; Національний транспортний університет. – Київ : 2008. – 261 с.
18. Малярєнко, В.А. Енергетичні установки [Текст]: навчальний посібник / В.А Малярєнко. – Харків: «Видавництво САГА», 2008. – 320 с.
19. Гавриш В.І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика / Гавриш В.І. - Миколаїв: МДАУ, 2007. - 283 с.
20. <https://www.slovoidilo.ua/2018/07/03/infografika/suspilstvo/skilky-biopalyva-vyroblyayut-ukrayini-ta-sviti>
21. Комплексне використання сировини для виробництва твердого біопалива деревообробними підприємствами: обліково-аналітичний аспект: монографія / Ю.В. Максимів; М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Прикарпат. нац. ун-т

ім. Василя Стефаника». — Івано-Франківськ: Друкарня Фоліант, 2015. — 186 с.: іл. — Бібліогр.: С. 134—154.

22. В.А. Малярєнко, Л.В. Лисак. Енергетика, довкілля, енергозбереження. /Під заг. ред. проф. В. А. Малярєнка, Харків: Рубікон, 2004. — 32с.

23. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України: навч. посіб. / Г.М. Калетнік, В.М. Пришляк. — Київ: Хай-Тек Прес, 2011.— 312 с.

24. Калетнік Г.М., Токарчук Д.М., Скорук О.П. Організація і економіка використання біоресурсів: підручник: 2-ге видання, перероблене і доповнене — Вінниця: ТОВ «Друк», 2020. — 372 с.

25. Муштрук М. М. Перспективи виробництва дизельного біопалива з технічних тваринних жирів в Україні / М. М. Муштрук Ю.Г. Сухенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. - Київ: НУБіП, 2011. - № 62(ч. 2). - С. 315-318.

26. Зарубіжний досвід електро- та теплопостачання на основі впровадження екологоефективних біопаливних технологій. // МіненерговугілляУкраїни ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку об'єднаної енергетичної системи України» Державного підприємства «Національна енергетична компанія «УКРЕНЕРГО» (НПЦР ОЕС України). — 2017.

27. Говорун А.Г., Мержиєвська Л.П., Павловський М.В., Бугрик О.В. Розширення паливної бази двигунів колісних транспортних засобів використання біодизельних палив, отримуваних з утилізованих відходів сільськогосподарського виробництва // Вісник НТУ. — 2016. № 34. — с.96.

28. Указ президента України «Про заходи щодо розвитку виробництва палива з біологічної сировини» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1094/2003>.

29. Mashad H.M. Biodieselproduction from fish oil. / H.M. Mashad, R.F. Zhang // (2006), American Society of AgriculturalEngineers Annual Meeting, 066144.
30. Говорун А.Г., Павловський М.В. Переваги використання трикомпонентних сумішевих біодизельних палив // Вісник Національного транспортного університету. – Київ: НТУ, 2010. – Випуск 20. 61 – 64 с.
31. Говорун А. Бугрик О.В., Поліпшення паливної економічності та екологічних показників ДВЗ термоелектричною утилізацією теплових втрат // LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ: НТУ, – 2017. – с.41- 42.
32. Економіка і організація аграрного сервісу. За ред. П.О. Мосіюка, - Київ: ІАЕ УААН, 2001.
33. Автономне електропостачання. - Режим доступу:
<http://greensystem.com.ua/index.php/avtonomelectrosnab-menu>
34. Автономне гібридне опалення. - Режим доступу:
<http://snt.biz.ua/solutions/avtonomnoe-gibridnoe-otoplenie/>
35. Теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК : довідник / В.Г. Федоров та ін. Умань : Редакц.-вид. від. УНУС, 2014. 352 с.
<http://www.lib.udau.edu.ua/handle/123456789/2762>.
36. Noami K. Room temperature ferromagnetic behavior in the hollandite-type titanium oxide / K. Noami et al. //Journal of Applied Physics. – 2010. – Т. 107. – №. 7. – P. 910.
37. Zuoa Z., Huang W., Hanb P. et al. Theoretical and experimental investigation of the influence of Co content on the titanium dioxide phase transition/ Z. Zuoa, W. Huang, P. Hanb et al. // Solid State Commun. – 2009. – V. 14. – P. 2139-2142.
38. Fedorov S.N. Stabilization TiO₂ anatase by F-ion doping for solar panel producing/ S.N. Fedorov, R.V. Kurtenkov, V.V. Vasiliev. // J. of Phys.: Conf. Ser. 2018. V. P. 1124.

39. Sotgiu G. Production and characterization of manganese oxide-based electrodes for anodic oxidation of organic compounds / G. Sotgiu, M. Foderà, F. Marra, E. Petrucci, D. Ingegneria, R. Tre, V.V. Volterra // Chem. Eng. Trans. – 2014. –vol. 41. – p. 11512.
40. Nijjer S. Oxidation of manganese(II) and reduction of manganese dioxide in sulphuric acid/ S. Nijjer, J. Thonsta, G.M. Haarberg // Electrochimica Acta. – 2000. – V. 46(2). – P. 395-399.
41. Cross A. Electrochemical Quartz Crystal Microbalance and Rotating Ring Disk Electrode Analysis of Manganese Dioxide Electrodeposition for Thin Film Electrochemical Capacitors/ A. Cross, I. Olcomendy, M. Drozd, A. F. Hollenkamp, S. W. Donne // Journal of The Electrochemical Society. – 2012. –V. 160(2). – PP. 368-375.